



SAVONIA



OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

AURINKOSÄHKÖJÄRJES- TELMÄT KUOPION TILA- KESKUKSEN KIINTEIS- TÖISSÄ

TEKIJÄ: Hanna Vaskonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Hanna Vaskonen			
Työn nimi Aurinkosähköjärjestelmät Kuopion Tilakeskuksen kiinteistöissä			
Päiväys 28.5.2018		Sivumäärä/Liitteet 43	
Ohjaaja(t) yliopettaja Juhani Rouvali, lehtori Jari Ijäs			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Antti Suihkonen Insinööritoimisto J.Markkanen Oy			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa Kuopion kaupungin Tilakeskukselle tiedot rakennuksista, joihin tulevaisuudessa on järkevää budjetoida ja rakentaa aurinkosähköjärjestelmä. Tämän lisäksi yhteen potentiaaliseen kohteeseen tehtiin sähkösuunnitelma aurinkosähköjärjestelmästä.</p> <p>Työ tehtiin vaiheittain. Aluksi määriteltiin kriteerit, joiden pohjalta käytiin läpi Kuopion kaupungin yli 300 julkista rakennusta niiden aurinkosähkölle sopivien ominaisuuksien perusteella. Näitä olivat muun muassa rakennuksen päiväaikainen kulutus, sijainti ja katon rakenne. Rakennusmassan läpikäynnin jälkeen tutkittiin tarkemmin jäljelle jääneitä noin 50 vaihtoehtoa ja mitattiin kattopinta-alaa, joka soveltuisi paneeleiden sijoitukselle sekä tarkasteltiin järjestelmän liittämistä rakennuksen sähkökeskukseen. Lisäksi selvitettiin, paljonko eroa on tasa- ja harjakattoisilla rakennuksilla asennuspinta-alan puolesta. Lopuksi yhteen näistä kohteista tehtiin toteutuskelpoinen case-tyyppinen sähkösuunnitelma kustannusarvioineen. Rakennusten pinta-aloja laskettiin Kuopion kaupungin omassa verkossa toimivalla Taavi-karttaohjelmalla ja sähkösuunnitelma tehtiin MagiCAD-suunnitteluohjelmalla.</p> <p>Työn tuloksena saatiin lista rakennuksista, joihin kannattaa tulevaisuudessa rakentaa aurinkosähkövoimala. Tulosten perusteella Tilakeskus pystyy jatkossa helpommin arvioimaan, minne kannattaa rakentaa seuraava aurinkovoimala. Työ on ajankohtainen, sillä aurinkosähkö on kasvava energiamuoto ja Kuopion kaupungilla on aikomus panna tähän rakennuttamalla vuosittain 1-2 kohteeseen aurinkosähköjärjestelmä.</p>			
Avainsanat aurinkosähkö, aurinkosähköjärjestelmä, invertteri, aurinkopaneeli, sähkösuunnittelu			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Hanna Vaskonen			
Title of Thesis Solar Panel Systems in the Tilakeskus Premises Owned by the City of Kuopio			
Date	28 May 2018	Pages/Appendices	43
Supervisor(s) Mr. Juhani Rouvali, Principal Lecturer and Mr. Jari Ijäs, Lecturer			
Client Organisation /Partners Antti Suihkonen Insinööritoimisto J.Markkanen Oy			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to provide Kuopio City ´s Tilakeskus with information about the buildings that will be feasible for budgeting and building a solar panel system in future. An electrical plan for a solar panel system was also made for one of the potential targets.</p> <p>The work was made step by step. The first thing to do was to determine criterions, based on over 300 public buildings of the city of Kuopio, considering their solar electricity. Criterions were the daytime consumption of the building, location and roof structure. After the buildings were gone through there were about 50 buildings left. Then the ceiling area which suits for the placement of the panels was measured and considered how the system could be connected to building ´s electrical center. In addition, the difference between a flat roof and a gable roof regarding the installations area was researched. Finally, for one of these potential targets an executable case-styled electrical plan with the budget was made. The areas were calculated with the Taavi software which functions only in Kuopio City ´s own network. The electrical plan was made by the MagiCAD design software.</p> <p>As a result of this thesis, a list of buildings where it is worth building a solar power system was drawn up. With the help of these results Tilakeskus will be able to evaluate where to build the next system. This thesis is current because photovoltaic energy is a growing source of energy and the city of Kuopio intends to invest in this by building one or two electric photovoltaic systems every year in some of these targets.</p>			
<p>Keywords</p> <p>photovoltaic, solar panel system, inverter, solar panel, electrical planning</p>			

ESIPUHE

Opinnäytetyö tehtiin Insinööritoimisto J.Markkanen Oy:n toimeksiannosta Kuopion Tilakeskukselle. Suuret kiitokset ohjaajalleni sähkösuunnittelupäällikkö Antti Suihkoselle ja Tilakeskuksen talotekniikka-asiantuntija Mikko Moilaselle mielenkiintoisesta ja ajankohtaisesta työn aiheesta ja neuvoista. Haluan kiittää myös opinnäytetyön ohjaavia opettajia yliopettaja Juhani Rouvalia ja lehtori Jari Ijästä avusta ja neuvoista, sekä hyvästä opetuksesta koko koulutuksen ajalta.

Isot kiitokset myös perheelleni ja vanhemmilleni, etenkin rakkaalle tyttärelleni. He tukivat ja kannustivat koko opinnäytetyöprosessin ajan.

Kuopiossa 28.5.2018

Hanna Vaskonen

SISÄLTÖ

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT	7
1 JOHDANTO	9
2 AURINGON SÄTEILYENERGIA.....	10
2.1 Auringon säteilyvoimakkuus.....	10
2.2 Auringon säteilyn määrä Suomessa	10
2.3 Auringon säteilyn määrä Itä-Suomessa	12
2.4 Aurinkosähkön tuotanto Suomessa	14
3 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ	15
3.1 Toiminta	15
3.2 Järjestelmän osat.....	16
3.2.1 Aurinkopaneeli	16
3.2.2 Invertteri eli vaihtosuuntaaja	19
3.2.3 Kaapelointi.....	20
3.2.4 Suojaus	21
3.2.5 Kiinnitysmekanismit.....	22
3.2.6 Järjestelmän tuotto	23
3.3 Aurinkopaneelien tunnusluvut	24
3.3.1 Hyötysuhde	24
3.3.2 Tehontuotto.....	24
3.3.3 Kuorma	25
3.4 Kannattavuus	25
4 JÄRJESTELMÄN LIITTÄMINEN VERKKOON.....	26
4.1 Tekniset vaatimukset	26
4.2 Käytettävät standardit	26
4.3 Sähkön tuotannon mittaaminen.....	27
5 KUOPION TILAKESKUKSEN POTENTIAALISET KOHTEET	28
5.1 Rakennuksen kulutus	28
5.2 Katon sijainti ja käyttöpinta-ala paneeleille.....	28
5.3 Invertteri.....	30
5.4 Kiinteistön keskukseen liittyminen	31

5.5	Rakennusten vesikattokuvat.....	32
5.5.1	Tasakatto	33
5.5.2	Harjakatto	33
6	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU, CASE STEINERKOULU	34
6.1	Kohteen tiedot.....	34
6.2	Aurinkopaneelien valinta.....	35
6.3	Invertterin valinta	36
6.4	Paneelien sijoitus	37
6.5	Kaapelointi	38
6.6	Suojaus.....	38
6.7	Kustannukset.....	39
6.7.1	Kustannusarvio	39
6.7.2	Takaisinmaksuaika	40
7	YHTEENVETO.....	41
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	42

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

Auringonpaistetunti

Auringonpaistetunti kertoo, montako tuntia esimerkiksi vuorokaudessa, kuukaudessa tai vuodessa aurinko on paistanut (Kvik, 2010).

Aurinkosähkön peruskuorma

Päiväaikainen kulutus siihen aikaan päivästä, kun aurinko paistaa (maalis- ja lokakuun välillä).

Hyötysuhde

Paneelin hyötysuhde η saadaan paneelin tuottaman tehon ja paneelille tulevan säteilyn suhteena (Suntekno Oy, 2010). Ilmoitetaan prosentteina.

Invertteri eli vaihtosuuntaaja

Laite, joka muuttaa tasajännitteen ja –virran vaihtojännitteeksi ja –virraksi (Suomen standardisoimisliitto SFS RY, 2017)

MPPT (Maximum Power Point Tracking)

Vaihtosuuntaajan säätömenetelmä joka mahdollistaa toiminnan maksimiteholla (Suomen standardisoimisliitto SFS RY, 2017).

Nimellisteho

Paneelin teho testiolosuhteissa, ilmoitetaan yleensä niin sanottuna huipputehona (Wp) (Kvik, 2010). Etelään suunnattu järjestelmä, jonka ylle ei lankea varjoja ja joka on kallistettu noin 30 asteen kulmaan, tuottaa vuodessa noin 850 kWh/kWp Suomen oloissa. (Rexel Finland Oy)

Paneeli

Aurinkokennoista koostuva yksikkö, joka on ympäristöltä suojattu ja tuottaa tasavirtaa (Kvik, 2010)

Paneelisto

Koostuu yhteen rinnan- tai sarjaan kytketyistä paneeleista.

Rinnankytkentä

Vähintään kahden aurinkosähköpaneelin kytkentä, niin että samanmerkkiset (+/-) päät kytketään yhteen. Jännite sama kuin yhden moduulin jännite (Kvik, 2010). Keskenään samanlaisia aurinkopaneeleja voidaan kytkeä rinnan. Rinnankytkentä summaa paneelivirrat. (Kekkonen, 2014)

Sarjaankytkentä

Vähintään kahden aurinkosähköpaneelin kytkentä niin, että erimerkkiset navat liitetään yhteen. Kytken jännite on paneelien yhteenlaskettu jännite. (Kvik, 2010) Keskenään samanlaisia aurinkopaneeleja voidaan kytkeä sarjaan. Sarjaan voi kytkeä paneeleja, joilla on samat virta-arvot. (Kekkonen, 2014)

Teho

Aurinkosähköpaneelin tuottama teho (P , watti) saadaan yleisestä tehon kaavasta jännite (U , voltti) kertaa virta (I , ampeeria), $P=UI$.

Vuotuinen yield

Voimalan huipunkäyttöaika. Riippuu kohteen ilmastosta, paneelien kallistus- ja suuntakulmasta, sekä varjostuksesta. Yksikkö on kWh/kWp.

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä perehdytään aurinkosähköjärjestelmään, sen toimintaan ja aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluun. Opinnäytetyössä keskitytään tutkimaan Kuopion Tilakeskuksen julkisia kiinteistöjä ja erityisesti sitä, kuinka niihin suunnitellaan järkevän kokoinen aurinkosähköjärjestelmä. Työssä lähdetään tutkimaan rakennusten kulutuksen ja kattopinta-alan pohjalta järjestelmän kokoa; paneelien sijoitusta ja niiden määrää, ja sitä kautta niistä saatavaa hyötyä. Lopuksi tehdään sähkösuunnitelma aurinkosähköjärjestelmästä yhteen potentiaalisista kohteista.

Kuopion Tilakeskus huolehtii kaupungin omistamista ja hallitsemista sadoista rakennuksista sekä vastaa niiden kiinteistöpalveluista. Tilakeskuksen asiakkaita ovat kaupungin palvelualueiden lisäksi yritykset ja yhteisöt. Kuopion Tilakeskuksen toiminnan tavoitteena on kaupungin tilojen tehokas käyttö. Rakennusten kunnon ja arvon säilyttämisen lisäksi parannetaan kiinteistöjen tuottavuutta (Kuopion Tilakeskus, 2018). Kuopion Tilakeskuksella on tarkoitus tulevina vuosina panostaa aurinkosähköön rakennuttamalla aurinkosähköjärjestelmiä 1-2 kohteeseen vuodessa.

Opinnäytetyön tuotoksena saadaan Kuopion Tilakeskukselle runkosuunnitelma, jonka mukaan voidaan edetä aurinkosähköjärjestelmien hankkimisprosessissa. Voidaan suunnitella, minne ja minkä kokoinen aurinkosähköjärjestelmä kannattaa budjetoida seuraavaksi. Lisäksi yhdestä kohteesta tulee olemaan toteuttamiskelpoinen aurinkosähkösuunnitelma kustannusarvioineen.

2 AURINGON SÄTEILYENERGIA

Aurinko säteilee tuottamansa energian avaruuteen pääosin näkyvänä valona ja lämpö- eli infra-punasäteilynä. Maan etäisyydellä auringon säteilyn teho on noin 1366 wattia neliökilometriä kohti. Tätä lukua kutsutaan aurinkovakioksi (Ilmatieteenlaitos).

2.1 Auringon säteilyvoimakkuus

Auringon säteilyn voimakkuutta paikkakunnittain voidaan laskea kaikkien valmiiden dokumenttien li-säksi seuraavalla tavalla. Tähän on esitetty malli Sunteknon Aurinkoenergia ABC-oppaassa. Auringon säteilyn voimakkuus S tietyllä paikkakunnalla lasketaan yhtälöstä

$$S = S_0 \cdot \sin(\alpha) \quad (1)$$

missä $S_0 \approx 1000 \text{ W/m}^2$ on auringon säteilyn voimakkuus maan pinnalla silloin kun aurinko paistaa suoraan ylhäältä. Auringon korkeuskulma α riippuu paikkakunnan leveyspiiristä ϕ , auringon deklinaatista δ ja kellonajasta (tuntikulmasta h). Auringon korkeuskulma α lasketaan yhtälöstä

$$\sin(\alpha) = \sin(\phi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(h) \quad (2)$$

Maapallo pyörii vuorokaudessa akselinsa ympäri kerran, eli se kiertyy tunnissa $360^\circ/24=15^\circ$. Tuntikulma saadaan kaavalla

$$h = 15^\circ \cdot (\text{Aurinkoaika} - 12) \quad (3)$$

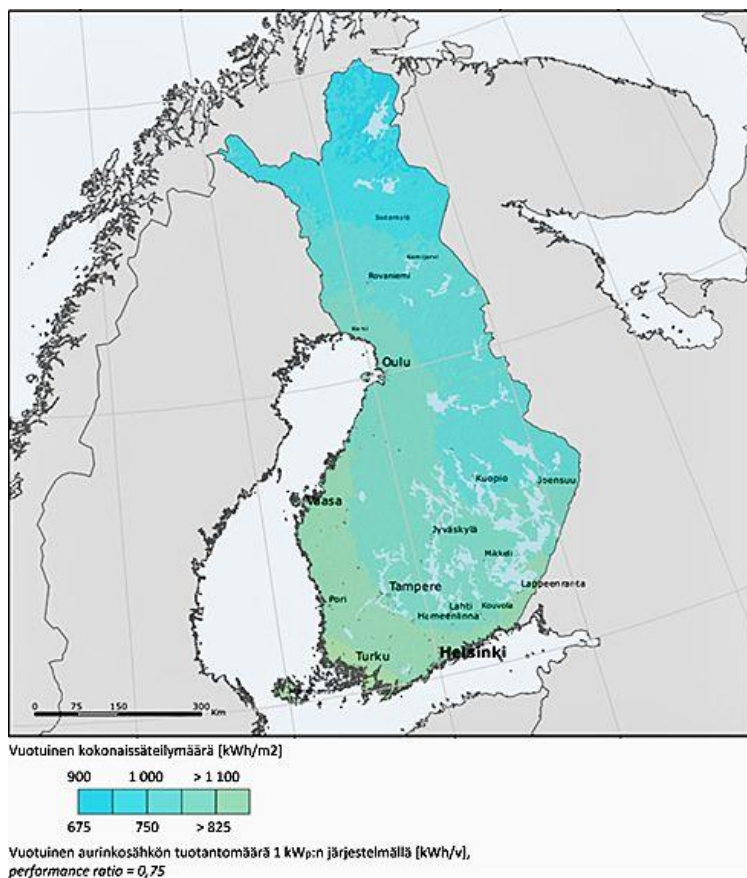
Koska Suomessa on käytössä kesäaika, aurinko on etelässä kesällä klo 13. Tämän vuoksi aurinkoaika on tunnin jäljessä kellonaikaan verrattuna. (Suntekno Oy, 2010)

2.2 Auringon säteilyn määrä Suomessa

Kokonaissäteily koostuu auringon suorasta- ja hajasäteilystä. Hajasäteilyksi luetaan säteily, joka heijastuu ilmakehästä ja pilvistä. Myös maasta heijastuva säteily on hajasäteilyä. Hajasäteilyn osuus kokonaissäteilystä on Suomessa suuri. Esimerkiksi Etelä-Suomessa noin puolet vuosittaisesta säteilystä on hajasäteilyä.

Säteilyn laadulla ei kuitenkaan ole merkitystä aurinkopaneelien tuoton kannalta. Aurinkopaneeleille tulevan kokonaissäteilyn määrään vaikuttavat niiden sijoittelu ja kallistuskulma. Kallistetuille paneeleille tulevaa kokonaissäteilyä voi hetkellisesti lisätä jopa 20 % heijastuva säteily lumesta, vedestä tai kiiltävältä kattopinnalta. (Motiva, 2017)

Etelä-Suomen vuotuinen kokonaissäteily määrä vastaa Pohjois-Saksaa. Suomessa säteily keskittyy kuitenkin enemmän kesäkuukausille kuin Etelä-Euroopassa. Tämän vuoksi tuotanto vaihtelee Suomessa vuodenaikojen mukaan. (Motiva, 2018) Kuvassa 1 näkyvät säteilymäärät 1 kWp aurinkosähköjärjestelmällä (hyötysuhde 75 %) optimaalisesti kallistetulla pinnalla Suomessa vuoden aikana. Kuvasta huomataan, että säteilyä tulee vähintään 1000 kWh/m² joka puolella Suomea.



KUVA 1. Vuotuinen auringon kokonaissäteily määrä Suomessa (kWh/m²). (Motiva, 2018)

Ilmatieteenlaitos on laatinut nykyilmastoon tyypillisiä sääoloja kuvaavia testivuotia energialaskelmia varten. Eteläisimmässä Suomessa kokonaissäteilyenergian määrä vaakatasolle on Ilmatieteen laitoksen testivuoden mukaan noin 980 kWh/m² vuodessa, Keski-Suomessa määrä on noin 890 kWh/m² ja Pohjois-Suomessa noin 790 kWh/m² (Motiva, 2018).

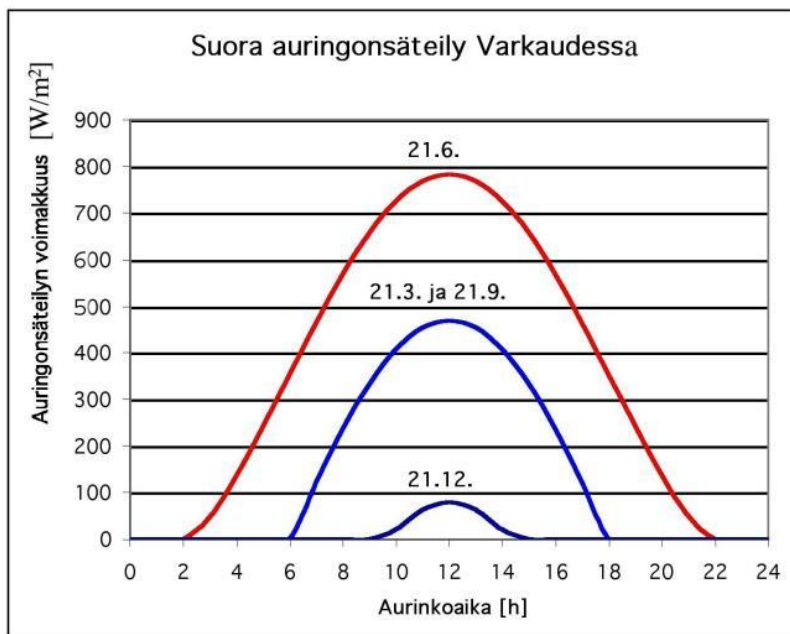
Auringonpaistetunnit paikkakunnittain vuosien 1971–2000 (touko-elokuu) välillä on esitetty taulukossa 1. Taulukosta huomataan, että eniten aurinkoisia tunteja on Etelä-Suomessa ja länsirannikolla, yli 1100 h. Itä-Suomessa auringonpaistetunteja on keskimäärin noin 1000.

TAULUKKO 1. Keskimääräiset auringonpaistetunnit kuukausittain. (Suntekno Oy, 2010)

Paikkakunta (Mittauspaikka)		Auringonpaiste (h)
Korpoo	(Utö)	1170
Kotka	(Rankki)	1131
Maarianhamina	(la)	1116
Valassaaret		1107
Kemi-Tornio	(la)	1093
Kruunpyy	(la)	1079
Turku	(la)	1061
Helsinki-Vantaa	(la)	1040
Vaasa	(la) 61-90	1038
Oulu	(la)	1038
Ylistaro		1036
Utti	(lk)	1024
Lappeenranta	(la)	1014
Kuopio	(la)	1005
Jokioinen	(la)	993
Joensuu	(la)	983
Jyväskylä	(la)	978
Rovaniemi	(la)	978
Sodankylä	(la)	960
Utsjoki	(Kevo)	801

2.3 Auringon säteilyn määrä Itä-Suomessa

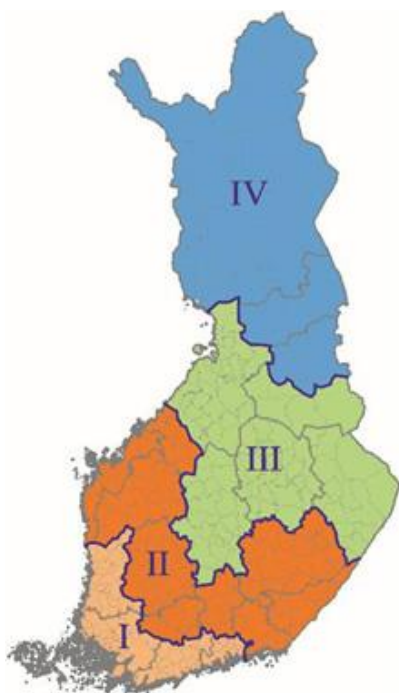
Kuvassa 2 on esitetty suora auringonsäteily vuorokauden aikana Varkaudessa päiväntasauksien aikaan. Suurimmillaan auringonsäteily voimakkuus on kesäpäivän tasauksen aikana, jolloin säteilyä voi parhaillaan olla 550–780 W/m². Kevät- ja syyspäiväntasauksen aikaan säteilyn määrä jää alle 500 W/m² ja talvipäivän seisauksen aikaan säteily on olematonta. (Suntekno Oy, 2010) Talvipäivän seisauksen aikaan paneelit ovat usein lumen alla, joten säteilyllä ei ole suurta merkitystä.



KUVA 2. Auringon säteilyn laskettu voimakkuus Varkaudessa tasauspäivien aikana. (Suntekno Oy, 2010)

Nykyään monista sääpalveluista saadaan tietoa alueittain auringon säteilyenergian määrästä. Esimerkiksi Ilmatieteenlaitos on mitannut auringon kokonaissäteilyenergiat eri ilmansuuntiin osoittavilla

pystypinnoilla ja 45° kulmaan kallistetuilla pinnoilla. Ilmatieteenlaitoksen julkaisussa Suomi on jaettu neljään eri säähavaintoalueeseen, kuten kuvasta 3 nähdään. Mittaukset on suoritettu alueittain. (Pesonen, 2016)



KUVA 3. Testivuosien aluejako. (Ilmatieteenlaitos)

Varkaus, jota tarkasteltiin kuvassa 2, samoin kuin esimerkkitapahtuman sijoituspaikka Kuopio, sijaitsevat vyöhykkeellä III, jonka säähavaintoasema on Jyväskylässä. Sekä Varkaus että Kuopio sijaitsevat leveyspiirillä $\varphi \approx 62^\circ$.

Aurinkopaneelijärjestelmän suunnittelussa voidaan käyttää apuna kuvan 2 Varkauden käyriä eri tasauspäivinä. Näistä oleellisin mitoituksen osalta on kesäkuun tasauspäivä käyrä, joka näyttää parhaan tilanteen keskellä kesää aurinkosäteilyn voimakkuuden suhteen. Lisäksi taulukosta 2 auringon säteilyenergia 45° kulmassa kallistetulle pinnalle alueella III huomataan, että paras hyöty saadaan kun paneelit on asennettu kohti etelää, 1127,3 kWh/m². (Pesonen, 2016)

TAULUKKO 2. Auringon säteilyenergia 45° kulmassa kallistetulle pinnalle alueella III. (Ilmatieteenlaitos)

Auringon kokonaissäteilyenergia 45 astetta kallistetulle pinnalle eri ilmansuuntiin suunnattuna vyöhykkeellä III (Jyväskylä), kWh/m ²								
Kuukausi	P	Ko	I	Ka	E	Lo	L	Lu
Tammikuu	5,0	5,0	5,4	8,0	9,7	8,3	5,7	5,0
Helmikuu	13,6	13,7	22,6	37,9	45,7	37,4	20,9	13,7
Maaliskuu	36,2	40,0	52,3	72,5	84,5	76,2	58,4	41,0
Huhtikuu	51,1	69,1	99,8	129,0	137,2	123,8	97,9	66,0
Toukokuu	84,0	117,7	161,1	190,0	189,7	179,0	156,5	110,2
Kesäkuu	94,3	116,0	146,3	164,8	163,7	161,8	147,6	111,7
Heinäkuu	79,8	107,1	143,3	169,2	172,5	164,5	146,2	105,3
Elokuu	56,9	74,5	104,3	132,8	143,2	134,9	110,7	75,4
Syyskuu	31,7	41,8	68,8	100,3	113,5	98,6	69,5	40,7
Lokakuu	14,4	15,6	25,4	40,2	47,6	39,6	24,8	15,4
Marraskuu	5,8	5,8	7,5	12,2	14,9	12,2	7,4	5,8
Joulukuu	3,0	3,0	3,2	4,5	5,3	4,4	3,2	3,0
Koko vuosi	475,8	609,3	839,9	1061,4	1127,3	1040,7	848,8	593,3

2.4 Aurinkosähkön tuotanto Suomessa

Suomea ei usein pohjoisen sijaintinsa puolesta mielletä parhaaksi aurinkosähkön tuotantomaaaksi. Totuus kuitenkin on, että keväästä syksyyn aurinko paistaa ja sitä pystytään hyödyntämään koko ajan enemmän oikeanlaisilla ratkaisuilla ja tekniikalla sähkön tuotannossa.

Nykyään pystytään ennakoimaan hyvin tarkasti aurinkosähköjärjestelmän tuottama vuosittainen sähköenergian määrä kilowattitunteina. Ennakoinnin perustana on auringon kierron tunteminen, järjestelmän sijainti ja paneelien suuntaus. Jotta päästään parhaaseen mahdolliseen tulokseen, voidaan apuna käyttää ilmatieteenlaitoksien tuottamia menneiden vuosikymmenien sää- ja auringonsäteilydokumentteja. (Naps Solar Systems Oy)

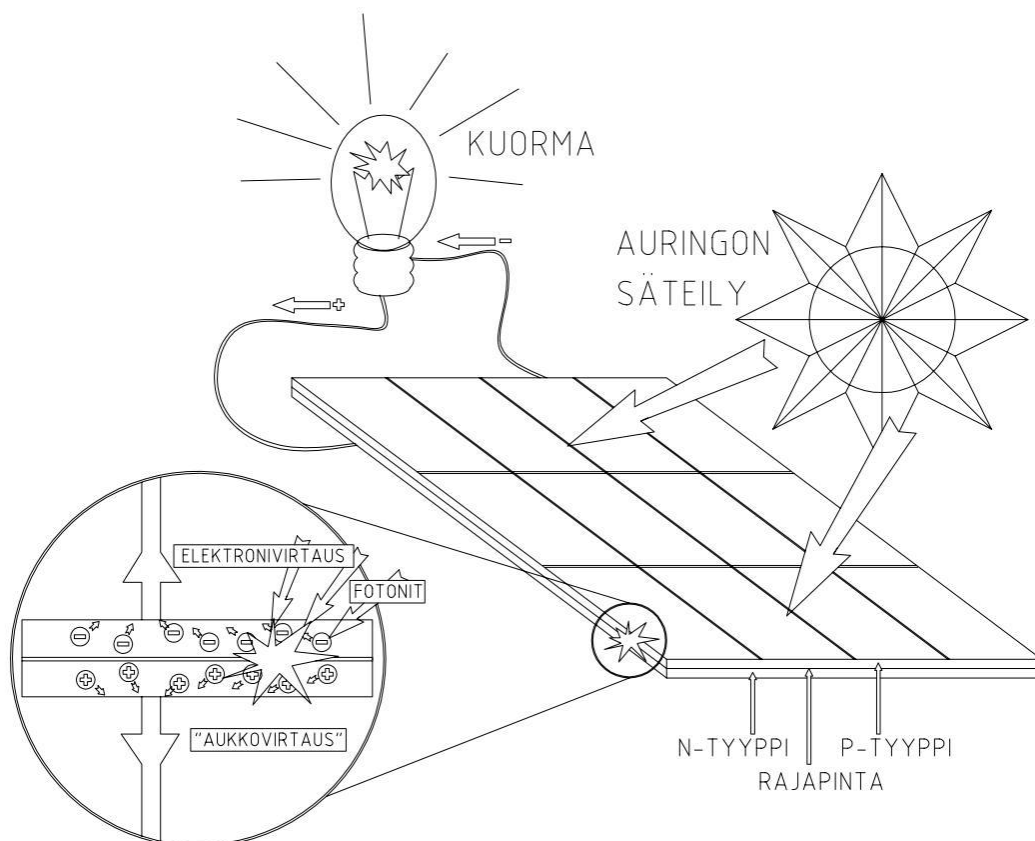
Suomessa vuotuinen säteilymäärä vaihtelee paikasta riippuen 900–1300 kWh/m² välillä. Tästä voidaan aurinkosähköjärjestelmällä tuottaa noin 700–1000 kWh asennettua kilowattia kohti (Naps Solar Systems Oy). Alueelliset erot johtuvat muun muassa pilvisyydestä ja Suomen pohjoisesta sijainnista. Tuotanto vähenee pohjoista kohti, koska auringonvalo joutuu läpäisemään paksumman kerroksen ilmakehää ja mitä pohjoisemmaksi mennään, sitä kauemmin lumi pysyy maassa. Pohjois-Suomessa talvi alkaa aiemmin ja jatkuu usein pitempään kuin etelässä ja lumihankien sulaminen kestää kauemmin.

Talvikuukausina aurinkosähköä ei yleensä saada ollenkaan. Talvikuukausien jälkeen paneelit alkavat heti tuottaa. Keväthanki heijastaa voimakkaasti valoa ja lisää aurinkosähkön tuottoa. On otettava huomioon, että vuosien väliset vaihtelut ovat suuria. Peräkkäisten vuosien tuotannossa voi olla jopa 20 prosentin vaihtelu. (Naps Solar Systems Oy)

3 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ

Aurinkosähkö on ekologinen vaihtoehto tulevaisuuden energiamuodoksi. Fossiilisten polttoaineiden käytöstä ilmaan kertyvä hiilidioksidi nopeuttaa ilmastonmuutosta. Fossiilisten polttoaineiden käyttöä pyritään rajoittamaan ja aurinkoenergia näyttäisi tarjoavan tähän hyvät mahdollisuudet (Perälä, 2017).

3.1 Toiminta



KUVA 4. Aurinkokennon toiminta. (Isojunno, 2014)

Aurinkosähkön tuotanto perustuu auringon säteilyenergian hyödyntämiseen. Säteily koostuu fotoneista eli hiukkasista, jotka kuljettavat auringon säteilyenergiaa auringosta maahan. Kun fotonit osuvat aurinkokennoihin, ne luovuttavat energian kennojen materiaalin elektroneille. Nämä elektronit muodostavat sähkövirran aurinkokennojen virtajohtimiin. Aurinkopaneelit voivat olla sarjaan- ja/tai rinnankytkettyjä. Erilaisilla kytkennöillä saadaan aikaan halutun suuruinen virta ja jännite. (Motiva, 2018) Yksi kenno, mitoiltaan 156x156 mm kehittää noin 0,5-0,6 V jännitteen ja 8 A virran. Yleisimpiä aurinkokennojen materiaaleja ovat yksikiteinen-, monikiteinen- ja amorfinen pii (Green Energy Finland Oy, 2015).

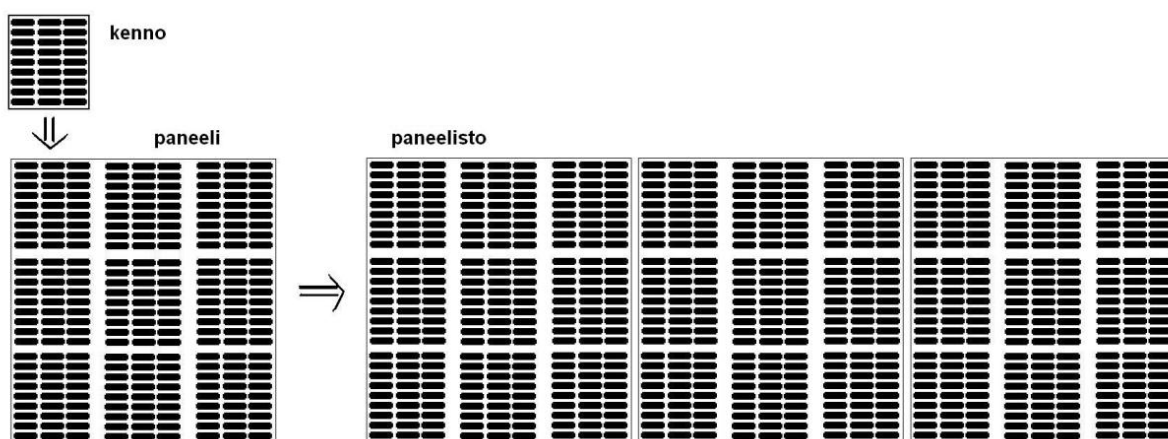
Aurinkosähköjärjestelmä voi toimia itsenäisesti tai olla verkkoon liitetty. Itsenäinen aurinkosähköjärjestelmä tarkoittaa, että aurinkopaneeleista syntyvä energia säilötään akkuihin. Tällöin akuista on saatavissa tasasähköä (DC). Jos aurinkosähköjärjestelmä on verkkoon liitetty, siitä syntyvä energia voidaan ohjata sähköverkkoon. Tällöin kyseessä on vaihtosähkö (AC). Aurinkosähköjärjestelmässä

voidaan myös hyödyntää näitä molempia yhtä aikaa, eli varastoidaan sähköä akkuihin mutta järjestelmä on myös liitetty verkkoon. Silloin yli tuotettu sähkö voidaan myydä jakeluverkkoon. Suuret aurinkosähköjärjestelmät ovat lähes aina verkkoon kytkettyjä. (Saarensilta, 2012)

Aurinkosähköjärjestelmän etuna on, että tuotanto on suurinta keskipäivällä, jolloin sähköä tarvitaan yleensä eniten. Tästä syystä järjestelmä soveltuu hyvin tuottamaan päivällä tarvittavaa huippukuormaa. (Vuorinen, 2009) Järjestelmät kehittyvät koko ajan jolloin myös kustannukset pienenevät ja varaosien saanti helpottuu.

3.2 Järjestelmän osat

Aurinkosähköjärjestelmän keskeisin osa on aurinkopaneeli (solar panel, PV modul). Se koostuu useasta yksittäisestä aurinkokennosta (solar cell). Aurinkopaneelien tehot vaihtelevat muutamasta kymmenestä watista satoihin watteihin. Kun yhdistetään useita aurinkopaneeleita, saadaan aikaan aurinkopaneelisto (array), kuten kuvasta 5 huomataan.



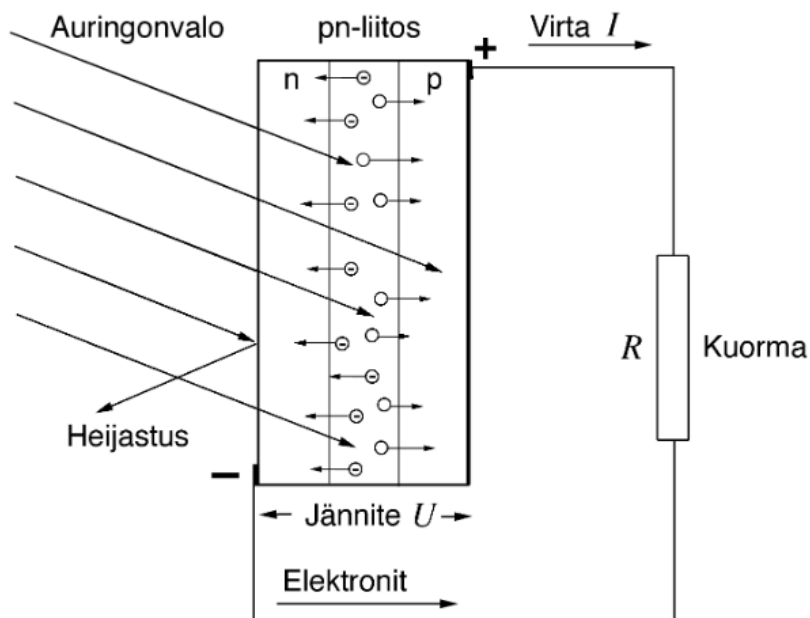
KUVA 5. Paneeliston koostuminen. (Saarensilta, 2012)

3.2.1 Aurinkopaneeli

Kennossa auringon valo muuttuu suoraan sähkövirraksi. Aurinkokenno on periaatteessa hyvin suuri fotodiodi, jossa on yhdistetty kaksi erityyppistä puolijohdemateriaalia (p ja n). Kun auringon valo kohdistuu kennoon, niin ainakin osalla valohiukkasista (fotoneista) on niin suuri energia, että ne pääsevät ohuen pintakerroksen läpi pn-liitokseen ja voivat muodostaa elektroni-aukkopareja. Lähellä pn-liitosta muodostuvista pareista elektronit kulkeutuvat n-puolelle ja aukot p-puolelle. Rajapintaan muodostuneen sähkökentän vuoksi elektronit voivat kulkea vain tiettyyn suuntaan. Niiden on kuljetettava ulkoisen johtimen kautta p-tyyppin puolijohteeseen, jossa ne vasta voivat yhdistyä sinne kulkeutuneiden aukkojen kanssa. Valaistun liitoksen eri puolilla on siten jatkuvasti vastakkaismerkkiset varauksenkuljettajat, ja liitos voi toimia ulkoisen piirin jännitelähteenä (Suntekno Oy, 2010).

Aurinkokennojen yleisin materiaali on pii (Si), jota käytetään yksi- ja monikiteisenä sekä myös amorfisessa muodossa. Yksikiteiset piikennot on sahattu yhtenäisestä piihihiosta. Koska raaka-aine on hyvin kallista, pyöreistä kiekkoista ei kannata tehdä neliskulmaisia. Tämän vuoksi yksikidepanee-

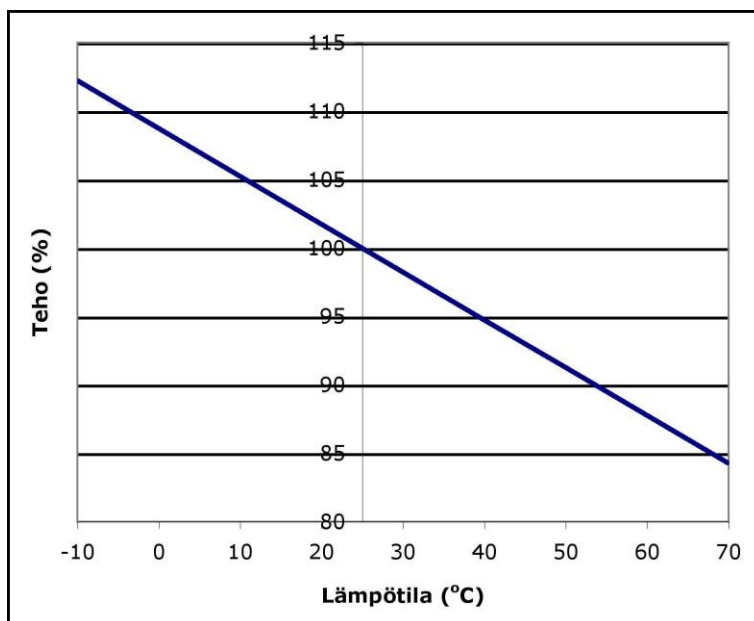
leissa on aukot kennojen kulmissa. Monikiteisiä piikkenoja voidaan tehdä neliskulmaisista aihioista, jolloin raaka aine saadaan käytettyä tarkemmin hyödyksi. Amorfisesta piistä valmistetut kennot ovat taipuisia ja valmistuskustannuksiltaan halvempia, mutta niiden hyötysuhde jää pienemmäksi (Suntekno Oy, 2010). Aurinkokennon rakenne ja toimintaperiaate on esitetty kuvassa 6.



KUVA 6. Aurinkopaneelin toimintaperiaate. (Suntekno Oy, 2010)

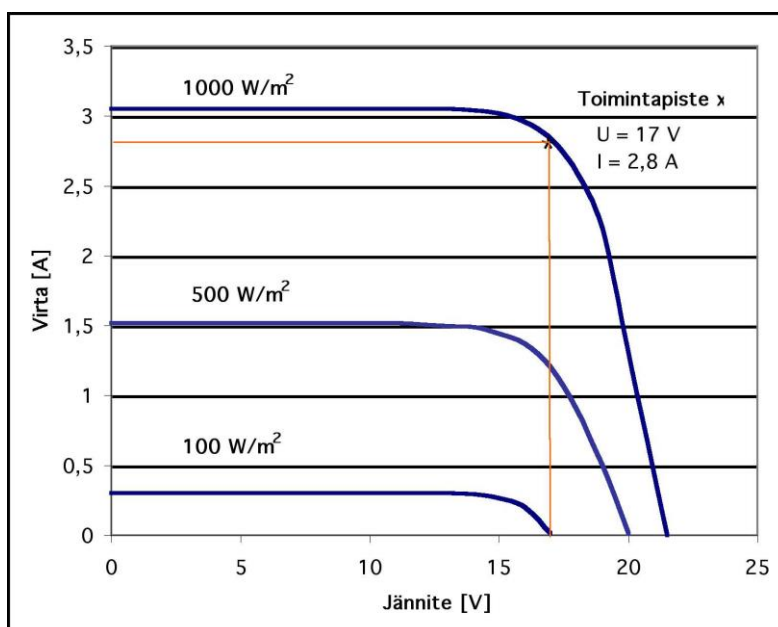
Paneelit on paras suunnata etelään. Optimaalinen kulma Suomen oloissa ja sijainnista riippuen paneelien asentamiseen vaihtelee 41–48 asteen välillä. Näin vuotuinen sähköntuotanto on parasta. Hyviin tuloksiin päästään kuitenkin jo yli 15 asteen asennuskulmalla. (Rexel Finland Oy) Kiinnitysmekanismeilla voidaan vaikuttaa kallistuskulmaan ja suuntaukseen. Paneelit voidaan asentaa katon lisäksi myös julkisivuun tai maahan. Paneelit ovat suorakaiteen muotoisia. Yleisesti tasakattoasennuksissa paneelit ovat paneelin pitkän sivun suuntaisesti kallistettuna etelää kohti. Harjakattoasennuksessa ne ovat pystysuunnassa katon myötäisesti. Tasakatonle asennettaessa paneelirivistöjen väliin on jätettävä tilaa, jotta ne eivät varjosta toisiaan. Harjakatolla paneelit voivat olla vierekkäin, mutta pieni tuuletusrako kannattaa jättää.

Aurinkopaneelien hyötysuhde nousee viileässä, sillä kuuma paneeli ei tuota energiaa yhtä tehokkaasti. Kuvasta 7 huomataan, että 100 % teho saavutetaan noin 25 asteen lämpötilassa, kylmemmässä säässä paneelin teho vain kasvaa.



KUVA 7. Lämpötilan vaikutus paneelin tehoon. (Suntekno Oy, 2010)

Aurinkopaneelin ominaiskäyrä kertoo, millä virran ja jännitteen arvoilla se toimii. Oikosulkuvirta on paneelin tuottama maksimivirta, silloin kun paneelin navat on kytketty oikosulkuun. Tyhjäkäyntijännite puolestaan on paneelin maksimijännite, kun paneeliin ei ole kytketty kuormaa. Maksimitehopiste tarkoittaa niitä virran ja jännitteen arvoja, joilla saavutetaan suurin ulostuloteho sen aikaisissa käyttöolosuhteissa. Käytännössä tätä pistettä on vaikea saavuttaa valaistusolosuhteiden vaihtelun ja paneelin lämpötilan vaihteluiden takia. (Suntekno Oy, 2010) Kuvassa 8 aurinkopaneelin ominaiskäyrä.



KUVA 8. 50 Wp aurinkopaneelin ominaiskäyrä eri säteilyvoimakkuuksilla 25 asteen lämpötilassa. (Suntekno Oy, 2010)

Kuvasta 8 huomataan, että säteilyn määrän pienentyessä myös paneelin tuottama virta ja jännite pienenevät. Maksimitehopiste (MPP) saavutetaan kun virta alkaa hieman laskea. Inverttereissä on

nykyään MPP-seuranta vakiona, jolloin paneelista saadaan mahdollisimman suuri energian tuotto ja hyöty irti. (Isojunno, 2014)

3.2.2 Invertteri eli vaihtosuuntaaja

Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä vaatii verkkoinvertterin (kuva 9) muuttamaan auringon tuottaman tasasähkön vaihtosähköksi. Verkkoinvertterin tulee täyttää jakeluyhtiön vaatimukset. Sen tulee tuottaa samanlaista sinimuotoista vaihtojännitettä kuin verkossa ja lisäksi sen tulee tahdistua verkon taajuuteen. Kiinteistöjen sähköliittymät ovat lähes aina kolmivaiheisia ja kulutus pyritään niissä jakamaan tasaisesti eri vaiheiden kesken. Verkkoinvertterit voivat olla joko kolmivaiheisia tai yksivaiheisia. Kolmivaiheinen invertteri liittyy talon sähköverkon jokaiseen vaiheeseen ja voi korvata kulutusta jokaisessa vaiheessa ja myös syöttää ylijäämäsähköä jokaisen vaiheen kautta verkkoon (Perälä, 2017). Suurissa julkisissa kohteissa käytetään vain kolmivaiheisia inverttereitä. Niitä syötetään rakennuksen pää- tai ryhmäkeskuksesta. Invertterin ja keskuksen välissä on oltava turvakytin, jolle on vapaa pääsy verkonhaltijalla.

Invertterin teho kannattaa mitoittaa vastaamaan paneelien tuottamaa maksimitehoa. Näin saadaan paras mahdollinen hyöty ja sähkön tuotto järjestelmästä. Invertteriin voidaan lisätä etälukulaitteita, jolloin koko järjestelmän toimintaa pystytään seuraamaan esimerkiksi tietokoneella tai tabletilla. (Rexel, 2018)

Verkkoinvertteri muuttaa paneeleista tulevan tasasähkön 230 tai 400 voltin vaihtosähköksi, jota voi käyttää verkkosähkön rinnalla. Jos sähköä kertyy yli oma tarpeen, ylimääräinen sähkö voidaan myydä syöttämällä se sähköverkkoon. Erityisesti teollisuus- ja toimistorakennuksiin aurinkosähkön tuottaminen sopii hyvin, sillä sähköä tuotetaan runsaimmin päivällä työaikana silloin, kun sitä kuluukin eniten. Illalla ja yöllä sähköä ei tuoteta. (Perälä, 2017) Tässä työssä ei tarkastella aurinkosähkön varastoimista akkuihin.



KUVA 9. ABB:n verkkoinvertteri. (ABB Oy)

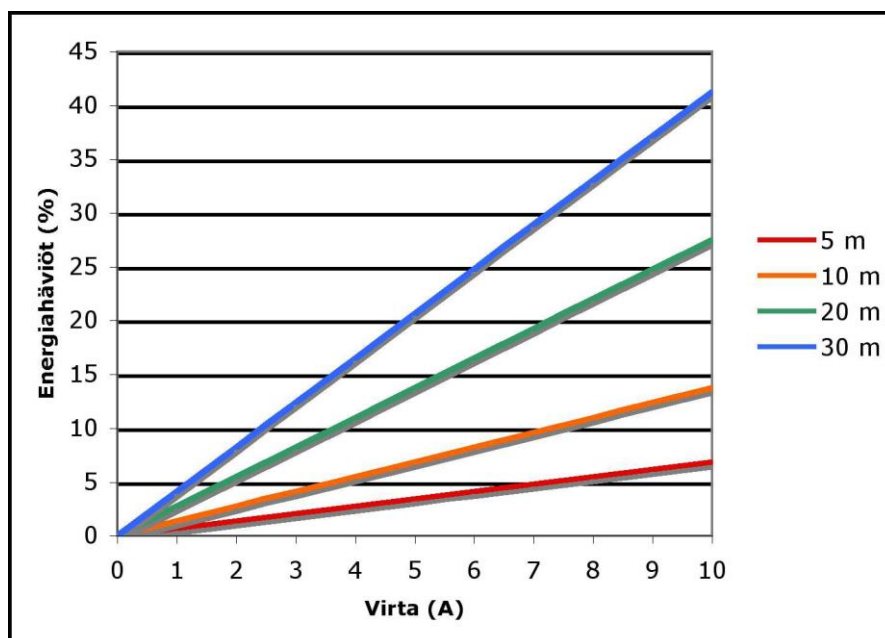
3.2.3 Kaapelointi

Koska jännitteet ovat pieniä ja virrat suuria, tehohäviöt muodostuvat helposti suuriksi. Johtimet mitoitetaan yleensä niin, että häviöt eivät ylitä 5 %. (Saarensilta, 2012) Johtimessa kulkeva virta lämmittää johdinta ja aiheuttaa siten tehohäviöitä. Tehohäviöt voidaan laskea yhtälöstä

$$P=I^2R, \quad (4)$$

missä I on johtimessa kulkeva virta (A) ja R on johtimen resistanssi (Ω).

Jotta siirtohäviöt olisivat pieniä, myös johtimessa kulkevan virran tulisi olla mahdollisimman pieni. Liäksi johtimen resistanssin täytyisi olla pieni. Näin ollen johtimen pitäisi olla paksu ja hyvin sähköä johtava. Kuparilla ja hopealla on paras sähkönjohtokyky. Kuparia käytetäänkin hyvin yleisesti sähköjohtimissa ja hopeaa erityistapauksissa kuten aurinkopaneelien pintaliitoksissa. (Suntekno Oy, 2010)



KUVA 10. Kuparikaapeli (2 mm²) aiheuttamat tehohäviöt 12 V järjestelmässä eri siirtomattoilla. (Suntekno Oy, 2010)

Kuvassa 10 on esitetty virran vaikutus kuparikaapeliin tehohäviöihin eri siirtomattoilla 12 V järjestelmässä, kun johtimen poikkipinta-ala on 2 mm², eli johtimen halkaisija on 1,6 mm. Laskelmassa on huomioitu sekä meno- että paluujohdinten pituus. Jos siirtojohtimen pituus on 5 m, jäävät tehohäviöt alle 5 %, mikäli virta on alle 7 A. Häviöt kasvavat suorassa suhteessa kaapelin pituuteen. On huomiotava, että johtimen poikkipinta-alan tai jännitteen kasvattaminen pienentää tehohäviöitä. Kaksinkertainen pinta-ala pienentää häviöt puoleen ja samoin 24 V järjestelmässä tehohäviöt puolittuvat. Kun virta on pieni (alle 1 A), häviöt ovat pieniä pitkälläkin matkalla (Suntekno Oy, 2010).

Kuparikaapelin (meno + paluujohdin) aiheuttamat tehohäviöt voidaan laskea kaavasta

$$\text{Häviöt (\%)} = 3,4 \cdot I \cdot \frac{l}{AU} \quad (5)$$

missä I on virta (A), l on johtimen pituus (m), A on johtimen poikkipinta-ala (mm²) ja U on jännite (V). Mitä pitempi johdin, sen paksumpi sen pitää olla, jotta tehohäviöt eivät kasva liian suuriksi. (Suntekno Oy, 2010)

Jotta aurinkosähköjärjestelmästä saadaan paras mahdollinen hyöty, on kaapelointi ja kaikki liitännät suunniteltava ja toteutettava huolellisesti. Paras tilanne on, kun johtimet ovat riittävän paksuja ja johtavat hyvin sähköä, jolloin johtimen resistanssi on pieni. (Saarensilta, 2012)

3.2.4 Suojaus

Aurinkopaneelien suojauksiin kuuluvat ylivirta- ja ylijännitesuojaus, maadoitus, AC ja DC puolen sulakkeet sekä kytkimet ja katkaisijat (Isojunno, 2014).

Sähköverkkoon kytkettävän aurinkosähköjärjestelmän suojauksen suunnittelussa pidetään järjestelmää, invertteriä ja paneeleita kuormituksena ja yleistä sähköverkkoa tehonlähteenä. Paneelit eivät tuota isoa vikavirtaa, mutta ulkoiset tekijät, esimerkiksi salamat, voivat tuottaa suuria vikavirtoja. Sähköverkosta tulevilta ylivirroilta ja muilta vikatilanteilta järjestelmää suojataan ylivirtasuojilla. Sähköverkon vikatilanteita varten pää- ja/tai ryhmäkeskuksessa on suojalaitteet, kuten sulakkeet ja vikavirtasuojakytkimet. Ylivirta- ja ylijännitesuojauksella turvataan aurinkosähköjärjestelmän osat (invertteri ja paneelit) sähköverkossa tapahtuvilta vikatilanteilta. (Rexel, 2018)

AC-puolen suojaus toteutetaan keskuksessa olevalla ylivirtasuojalla, jolla suojataan vaihtosähkösyöttökaapeli oikosululta. Pää- tai ryhmäkeskuksessa on oltava ylijännitesuoja. Näin suojataan invertteri sähköverkosta päin tulevilta ylijännitteiltä. Invertterin ja keskuksen välisen kaapeloinnin välimatka tulee huomioida. Jos välimatkan ylittää 10 m, ylijännitesuojia suositellaan asennettavaksi myös invertterin läheisyyteen. Vaihtosähköpuolella aurinkosähköjärjestelmä on oltava irtikytkettävissä yleisestä sähköverkosta lukittavalla turvakytkimellä. (Rexel, 2018)

DC-puolella ylijännitesuojauksella suojataan invertteriä. Myös DC-puolella sähköinen irtikytkentä on oltava mahdollinen. Monissa inverttereissä on itsessään DC-kytkin. Jos invertteri ei ole paneelien välittömässä läheisyydessä, suositellaan turvakytkin asennettavaksi myös tasasähköpuolelle paneeliketjujen läheisyyteen. Mikäli kaapelin jatkuva virrankestoisuus on vähintään 1,25-kertainen oikosulkuvirtaan nähden, voidaan ylivirtasuojaus jättää pois. (Rexel, 2018)

Kaikki hajautetut sähköntuotantojärjestelmät täytyy kytkeä sähköverkkoon siten, että toiminta on täysin turvallista myös silloin, kun energiavirta kohti verkkoa täytyy katkaista huoltoa varten tai itse verkossa ilmenee vika. Vikaantuneen verkon tilanteessa puhutaan saarekekäytöstä. Tällöin pienvoimala jää syöttämään verkon osaa yksin. Nopea erotus on ensisijaisen tärkeää, jotta voidaan välttää sähköverkon parissa työskenteleviin ihmisiin kohdistuvat vaaratilanteet. Tällainen suojaus voidaan

saada aikaan automaattisella seurantalaitteella, joka pystyy välittömästi havaitsemaan verkossa olevat viat. Tällaisia ovat esimerkiksi jännite- ja taajuusreleet (Saarensilta, 2012).

Aurinkosähköjärjestelmän sisältävään rakennukseen on kunnossapitohenkilöiden, tarkastajien ja sähköverkon huoltohenkilöiden turvallisuuden varmistamiseksi asennettava varoituskyltti, joka ilmoittaa, että kohteessa on aurinkosähköjärjestelmä. Lisäksi tasasähköosan kaikissa luokse päästävissä ja jännitteisiä osia sisältävissä sähkökeskuksissa on oltava pysyvä merkintä, jolla ilmoitetaan, että erottamisen jälkeen osissa voi olla edelleen jännite (Suomen standardisoimisliitto SFS RY, 2017).

3.2.5 Kiinnitysmekanismit

Paneelit asennetaan katolle käyttäen alumiinisia kiinnityskiskoja. Harjakatolle paneelit sijoitetaan useimmiten katon suuntaisesti, kuten kuvassa 11. Tasakatoille käytetään muovisia tai alumiinista valmistettuja kiinnitysratkaisuja, jolla saadaan tehtyä haluttu asennuskulma. (Rexel, 2018)



KUVA 11. Harjakattoasennuksen kiinnityskiskot paneelien alla. (Puro)

Harjakatolle asennettavat paneelit kiinnitetään alumiinikiskoilla. Katon materiaali vaikuttaa alumiinikiskojen välisiin kiinnityspisteisiin. Paneelien lukumäärä vaikuttaa kiinnityspisteiden määrään. On parempi sähkön tuoton kannalta, että paneelit asennetaan ennemmin optimikulmaa pienempään asennuskulmaan kuin liian jyrkkään.

Tasakattoasennuksessa asennusvaihtoehtoja on useita. Asennukset voivat olla kattorakenteisiin kiinnitettäviä tai lisäpainojen avulla rakenteiden päällä vapaasti kelluvia kuten kuvassa 12. Vapaasti kelluvan asennuksen etuna on, ettei vesikatetta tarvitse läpäistä. Lisäpainojen määrään vaikuttaa rakennuksen korkeus ja elementit, jotka estävät tuulta. Lisäpainojen tarve on muutamista kymmenistä kiloista aina 150 kiloon per paneeli. Vapaasti kelluvan järjestelmän etuna on, että se voidaan helposti lisätä jo olemassa olevaan rakennukseen, jos katon rakenteet ovat riittävän vahvat. Rakenteisiin kiinnitettävät ratkaisut ovat yleensä kevyempiä. Kaikissa tasakattoasennuksissa asennuskulma kuitenkin on usein 15-30 asteen välillä. Tällöin optimoidaan käytössä oleva tila sähkön tuottoon koska paneelit voidaan sijoittaa lähelle toisiaan ilman että ne kuitenkaan varjostavat. (Rexel, 2018)

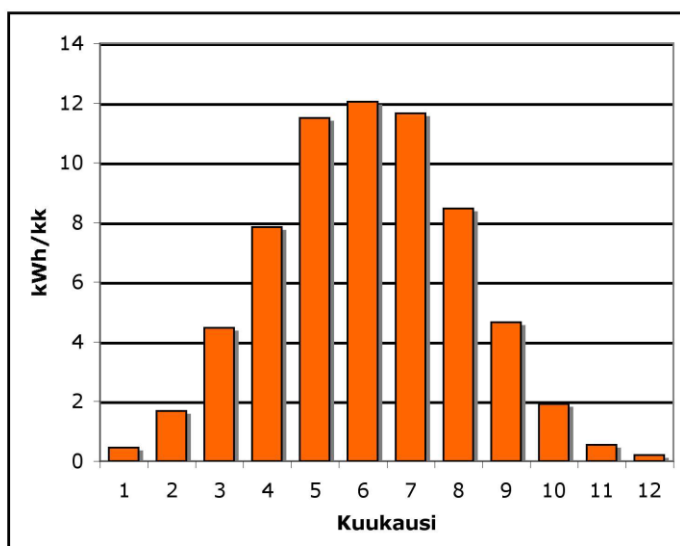


KUVA 12. Kelluva kiinnitysjärjestelmä tasakatolla. (Insinööritoimisto J.Markkanen Oy)

Näiden lisäksi paneeleita voidaan asentaa myös seinäpintoihin integroimalla tai maahan maa-asennusjärjestelmillä. Maahan asennettaessa käytetään samanlaisia telineitä kuin tasakattoasennuksessa. Maa-asennukset kannattaa aidata ja pitää vartioituna (Motiva, 2016).

3.2.6 Järjestelmän tuotto

Järjestelmien ja -paneelien nimellisteho ilmoitetaan kilowatti- tai wattipeakinä (kWp tai Wp). Tämän sähkötehon ne tuottavat vakioituissa testiolosuhteissa (aurion säteilyvoimakkuus 1000 W/m², ilman ja kennon lämpötila 25 astetta). Järjestelmän tuottaman sähköenergian määrä mitataan kilowattitunteina (kWh). Määrä riippuu järjestelmän suuntauksesta, varjostumista, sijainnista ja järjestelmän koosta (kWp). (Rexel Finland Oy)



KUVA 13. 50 Wp paneelin laskennallinen tehontuotto Keski-Suomessa eri kuukausina. (Suntekno Oy, 2010)

Kuvassa 13 on 50 Wp-paneelin laskennallinen energiantuotto Keski-Suomessa eri kuukausina. Marras-joulukuussa ja tammikuussa paneelin energiantuotto on olematonta. Myös lokakuussa ja helmikuussa tuotettu energiamäärä on vähäistä. Maaliskuun ja syyskuun välisenä aikana energiantuotto on hyvä, keskimäärin 8,6 kWh/kk. Vuoden aikana saadaan energiaa 65 kWh. Tästä 90 % saadaan maaliskuun ja syyskuun välisenä aikana. (Suntekno Oy, 2010)

Suomessa sähköyhtiöt hyvittävät verkkoon syötetystä ylijäämästä ainoastaan sähköenergian arvon. Hyvityshinta jää sen vuoksi alhaiseksi, ja itse tuotetusta sähköstä enin osa kannattaa pyrkiä käyttämään itse ja syöttää verkkoon energiaa vain vähän jos ollenkaan. Yksivaiheisella verkkoinvertterillä tätä tavoitetta on vaikea toteuttaa, sillä oma kulutus ei läheskään aina kohdistu juuri siihen vaiheeseen, johon verkkoinvertteri on kytketty (Perälä, 2017). Kuopion Tilakeskuksen kiinteistöissä pyritään tähän, että kaikki tuotettu sähkö käytetään itse. Potentiaalisten kohteiden valinnassa painotetaan, että kohteessa olisi tarpeeksi suuri päiväaikainen kulutus, eli peruskuorma, jotta kaikki aurinkovoimalla tuotettu sähkö tulisi käytettyä itse. Myyntiin ei ole tarkoitus tuottaa yhtään sähköenergiaa.

3.3 Aurinkopaneelien tunnusluvut

Aurinkopaneeleille voidaan laskea hyötysuhde μ , aurinkopaneelin tehontuotto P , aurinkopaneelin tuottama energia E ja aurinkopaneelin kuorma R .

3.3.1 Hyötysuhde

Aurinkopaneelien hyötysuhde voidaan laskea seuraavasti

$$h = \frac{P}{SA} \cdot 100 \%, \quad (6)$$

missä P on aurinkopaneelin nimellisteho (Wp), S auringon säteily määrä standardiolosuhteissa (1000 W/m²) ja A paneelien pinta-ala (m²) (Pesonen, 2016).

3.3.2 Tehontuotto

Aurinkopaneelien tuottama teho voidaan laskea seuraavasti

$$P = UI \quad (7)$$

jossa P on teho (W), U jännite (V) ja virta I (A). Paneelin tuottama energia (Wh tai kWh) puolestaan saadaan laskettua, kun tehon P lisäksi tiedetään t aika (h) (Pesonen, 2016).

$$E = Pt \quad (8)$$

Tulevissa paneelitarkasteluissa käytössä on ollut keskimääräinen tuotto Suomen oloissa, jolloin voimalan huipunkäyttöaika t (niin sanottu vuotuinen yield) on 850 kWh/kWp. Kaava muuntuu muotoon

$$E = P \cdot 850 \text{ kWh/kWp} \quad (9)$$

3.3.3 Kuorma

Aurinkopaneelin kytkettävä kuorma tai akusto määrää aurinkopaneelin jännitteen, jota vastaavaan pisteeseen virta hakeutuu auringonsäteilyn ja lämpötilan mukaan ominaiskäyrällä. Kuorman suuruus pystytään laskemaan seuraavasti

$$R = \frac{U}{I} \quad (10)$$

jossa R on kuorman resistanssi (Ω), U aurinkopaneelin napajännite (V) ja I virta (A) (Pesonen, 2016).

3.4 Kannattavuus

Kannattavuutta arvioidaan yleisesti ensin hinnan perusteella. Aurinkosähköjärjestelmä on pitkäikäinen ja melko huoltovapaa. Alkuhinta määräytyy järjestelmän koon, asennustyön määrän, asennusalueen ja komponenttien perusteella.

Aurinkosähkön kannattavuutta voi arvioida taloudellisten ja ekologisten näkökulmien kautta. Aurinkosähkön hinta muodostuu alkuinvestoinnista ja käyttöiän ylläpitokuluista. Alkuinvestoinnin jälkeen aurinkosähköjärjestelmä on pitkäikäinen. Käyttöikä paneeleille on jopa 30 vuotta. (Lämpökotiin.fi, 2018)

Aurinkopaneelien perusraaka-ainetta, piitä, saadaan suoraan maaperästä. Tämä tarkoittaa, että harvinaisia metalleja ei tarvita. Paneelien valmistuksen ekologisuuteen vaikuttaa paneelien raaka-aineita enemmän niitä valmistavan tehtaan sähköntuotanto. Aurinkosähköjärjestelmän pitkän käyttöiän ja vähäisen huollontarpeen vuoksi järjestelmä on pitkäikäinen ja ekologinen. Ja sitten kun järjestelmä on tiensä päässä, sen materiaalit on helppo kierrättää ja käyttää uudelleen. (Suomen luonnonsuojeluliitto, 2015)

Sähkön hinnan muutokset vaikuttavat osaltaan kannattavuuteen verojen ja siirtomaksujen kautta. Näihin ei voida vaikuttaa, mutta niiden olemassaolo kannattaa ottaa huomioon. Kannattavuutta on laskettu case-suunnitelmassa.

4 JÄRJESTELMÄN LIITTÄMINEN VERKKOON

Järjestelmän liittämisestä jakeluverkkoon on ilmoitettava etukäteen jakeluverkon haltijalle yleistietolomakkeella. Verkonhaltijalle tulee myös toimittaa dokumentit, muun muassa järjestelmän tekniset tiedot. Verkonhaltijan kanssa tehdään tuotannon verkkopalvelusopimus ja tarvittaessa myös tuotannon liittämissopimus (Energiateollisuus ry, sähköverkot, 2015).

4.1 Tekniset vaatimukset

On otettava huomioon tekniset lisävaatimukset laitteistoille. Näistä yleisiä vaatimuksia ovat

- tuotantolaitos ei saa aiheuttaa vaaratilanteita tai häiriöitä verkkoon
- tuotantolaitteisto ei saa kytkeytyä yleiseen sähköverkkoon, ellei sähköverkon jännite ja taajuus ole sovittujen asettelurajojen sisäpuolella
- tuotantolaitos ei saa jäädä syöttämään sähköverkkoa, kun verkkoa ei syötetä muualta
- mikäli tuotantolaitteistossa ilmenee vika, sähköntuottajan vastuulla on kytkeä se irti verkosta mahdollisimman nopeasti vian havaittuaan
- mikäli verkkoon liitetty tuotantolaitos aiheuttaa häiriöitä muualle sähköverkkoon, tulee verkonhaltija puuttumaan tilanteeseen ja ääritapauksessa poistattaa laitteen verkosta
- sähköntuotantolaitteiston haltija on vastuussa laitteistonsa tuottaman sähkö aiheuttamista vahingoista muille sähkönkäyttäjille ja verkonhaltijalle, mikäli laitteiston tuottama sähkö ei ole standardien ja muiden vaatimusten mukaista (Energiateollisuus ry, sähköverkot, 2015).

Lisäksi vaatimukset koskien sähkönlaatua ja sähköturvallisuutta ovat

- tuotantolaitosten tulee toteuttaa vähintään sitä koskevissa kansallisissa (SFS-standardit) ja kansainvälisissä (IEC:n ja CENELEC:n standardit) standardeissa asetetut sähkön laatua koskevat vaatimukset
- verkonhaltija määrittää kriteerit voimalaitoksen sallituille häirintätasolle
- verkkoon liitettävä voimalaitos ei saa merkittävästi heikentää jännitteen laatua voimalaitoksen liityntäpisteessä
- sähkötyöturvallisuuden varmistamiseksi tarvitaan erotuslaite
- tuotantolaitos on varustettava erotuslaitteella, jossa on asennonosoitin tai näkyvä avausväli ja johon verkonhaltijalla on esteetön pääsy
- kytkimessä on oltava myös lukitusmahdollisuus (Energiateollisuus ry, sähköverkot, 2015).

4.2 Käytettävät standardit

Aurinkosähköjärjestelmiä velvoittaa standardi SFS6000-7-712:2017 erikoistilojen ja -asennusten vaatimuksista. Näissä on säädöksiä koskien muun muassa suojausta, sähkölaitteiden valintaa ja asennusta, johtojärjestelmiä, kuormitettavuutta, erottamista, kytkentää ja ohjausta, sekä maadoittamista. (Suomen standardisoimisliitto SFS RY, 2017)

4.3 Sähkön tuotannon mittaaminen

Nimellisteholtaan enintään 100 kVA sähköntuotantolaitos ei tarvitse omaa mittalaitetta, vaan riittää, että kohteen etäluettava mittari mittaa erikseen sähköverkosta otetun (verkon otto) ja siihen syötetyn (verkon anto) energian. Verkosta ottoa ja antoa ei netoteta, vaan mittalaitteessa on näille erilliset rekisterit. Netottaminen tarkoittaa tässä yhteydessä verkkoon siirretyn energian vähentämistä suoraan verkosta otetusta energiasta.

Jos tuotantolaitos on nimellisteholtaan yli 100 kVA, tulee tuotantolaitos varustaa erillisellä mittauksella, jonka avulla saadaan laskettua oman tuotannon kulutus. Oman tuotannon kulutuksella tarkoitetaan tuotantolaitoksen tuottamaa energiaa, joka käytetään suoraan kohteessa. Oman tuotannon kulutus saadaan vähentämällä tuotetusta sähköstä tuotantolaitoksen omakäyttösähkö ja verkkoon syötetty sähkö. Omakäyttösähkö on tuotantolaitosjärjestelmän itsensä kuluttama sähkö.

Yli 100 kVA tehoisilla tuotantolaitoksilla tuotetusta tuotantokohteessa itse kulutetusta sähköstä on maksettava sähkövero, mikäli tuotantolaitoksen vuosituotanto on yli 800 000 kWh. Verkonhaltija on vastuussa verkosta oton ja verkkoon annon mittaamisesta. Mittari on verkonhaltijan omistuksessa ja verkonhaltija huolehtii sen luennasta. Oman tuotannon kulutuksen mittaamisvastuu on sähkön tuotajalla (Energiateollisuus Sähköverkko/Ina Lehto, 2016).

5 KUOPION TILAKESKUKSEN POTENTIAALISET KOHTEET

Työn ensimmäisessä vaiheessa lähdettiin selvittämään isosta rakennusmassasta (Tilakeskuksen Excel-taulukko rakennuksista) kohteita, jotka olisivat sopivia aurinkosähköjärjestelmän rakentamiselle. Pohjana kaikelle oli, että tuotettu energia tulee kokonaisuudessaan omaan käyttöön. Ensin kehiteltiin kriteerit, joiden mukaan lähdettiin etenemään. Seuraavassa on käyty läpi kriteerit ja niiden pohjalta saadut tulokset.

Julkisissa hankinnoissa rakennusurakat tulee kilpailuttaa. Kuopion kaupungilla on kuntahankintojen sopimus Green Energy Finland Oy:n (GEF) kanssa ja se ulottuu 8.11.2020 asti. Tämä tarkoittaa, että kaikki aurinkosähköjärjestelmät tulevat tänä aikana GEF:ltä. Työssä esitellyt paneelit ovat JA Solarin valmistamia ja GEF:n käyttämiä aurinkopaneeleita.

5.1 Rakennuksen kulutus

Kulutuksessa keskityttiin tutkimaan erityisesti rakennuksen pohjakuormaa, eli rakennuksen kulutusta päiväaikaan, kun aurinko paistaa ja laitteisto tuottaa parhaiten maaliskokuun välisenä aikana. Tiedot kulutuksesta saatiin Kuopion Energialta, Savon Voimalta ja Pohjois-Karjalan Sähköltä vuositasolla ja tietyistä kohteista myös tuntisarjoina. Tiedot rakennuksista saatiin Kuopion Tilakeskukselta.

Rakennuksia lähdettiin karsimaan Excel-taulukossa yli 300 joukosta ensin vuosikulutuksen perusteella. Ne rakennukset, joissa kulutus jäi hyvin pieneksi, keskimäärin alle 20 MWh vuodessa, karsittiin pois. Kulutusta täytyi olla tasaisesti ympäri vuorokauden ja vuoden niinä aikoina, kun aurinko paistaa, jotta kaikki paneeleilla tuotettava sähkö tulisi omaan käyttöön.

5.2 Katon sijainti ja käyttöpinta-ala paneeleille

Kun rakennukset oli rajattu kulutuksen perusteella pienemmäksi joukoksi, tutkittiin seuraavaksi niiden sijainti ja kattopinta-alat. Tähän apuna käytettiin Kuopion kaupungin omassa verkossa toimivaa Taavi-karttaohjelmaa, jolla pystyttiin tutkimaan rakennuksia ilmakuvista ja laskemaan tarkkaa kattopinta-alaa paneeleille etelästä päin. Rakennusta pystyttiin tarkastelemaan ohjelmalla eri ilmansuunnista ja kaikki pinta-alat onkin laskettu etelä-pohjoissuunnassa. Kuvassa 14 on ilmakuvaa, jota Kuopion kaupungin ohjelmalla saatiin, kohteena Steinerkoulu.



KUVA 14. Ilmakuva Steinerkoulusta. (Taavi paikkatietopalvelu, 2018)

Ensin tutkittiin, löytyykö rakennuksen ympäriltä varjostavia rakennuksia, puustoa tai rakennelmia. Jos varjostavia elementtejä oli liikaa, rakennus poistettiin suoraan Excel-listalta. Auringonvalon esteetön pääsy paneeleille on tärkeää, koska paneelien sarjaankytkennän takia koko järjestelmä toimii yhtä hyvin kuin huonoin (varjossa oleva) paneeli.

Seuraavaksi tarkasteltiin kattoa. On aina parempi, mitä vähemmän katolla on ulokkeita, IV-koneita (tai konehuoneita), ikkunoita, varjostavia piippuja tai pylviä. Ideaalitilanteessa katto on etelään päin. Yhtä hyviä ilmansuuntia ovat myös kaakko ja lounas, erityisesti niiden välille avautuva katto. Itä-länsi suunnassa olevat katot huomioitiin myös (esimerkkinä jäähalli), jos ne muutoin olivat rakenteeltaan sopivia paneelien sijoitukseen. Taavi-ohjelmalla saatiin myös laskettua kattopinta-ala suuntaa antavasti, kuten kuvasta 15 huomataan.



KUVA 15. Steinerkoulun potentiaalinen kattopinta-ala paneeleille (m²). (Taavi paikkatietopalvelu, 2018)

Katon rakenne, sen suuntaus ja mahdollinen pinta-ala rajasivat huomattavasti potentiaalisten kohteiden listaa. Lista supistui noin 150 kohteesta 50:een. Näistä 50 kohteesta erinomaisia oli 10 ja hyviä 40. Näistä kohteistakin jouduttiin vielä karsimaan muutama pois, koska rakennukset olivat meidän tulevina vuosina remonttiin.

5.3 Invertteri

Invertterien kohdalla tarkastelua tehtiin ABB:n TRIO ja PVI -sarjojen osalta järjestelmän koon ja ominaisuuksien perusteella. Invertterin koko määräytyy paneeleiden määrän ja tehon mukaan.

ABB:n invertterit TRIO-20.0/27.6-TL-OUTD ja PVI-10.0/12.5 ovat hyviä valintoja suuriin kohteisiin, joissa paneeleita tulee erilaisiin säteilyolosuhteisiin. Kyseisissä inverttereissä on kaksi MPPT-seurainta. Tällöin kaikki paneelit voidaan liittää yhteen invertteriin. Invertterit vievät paljon seinätilaa, lämpenevät ja niiden hankintakustannukset ovat suuret. On aina parempi, jos selvittää yhdellä invertterillä.

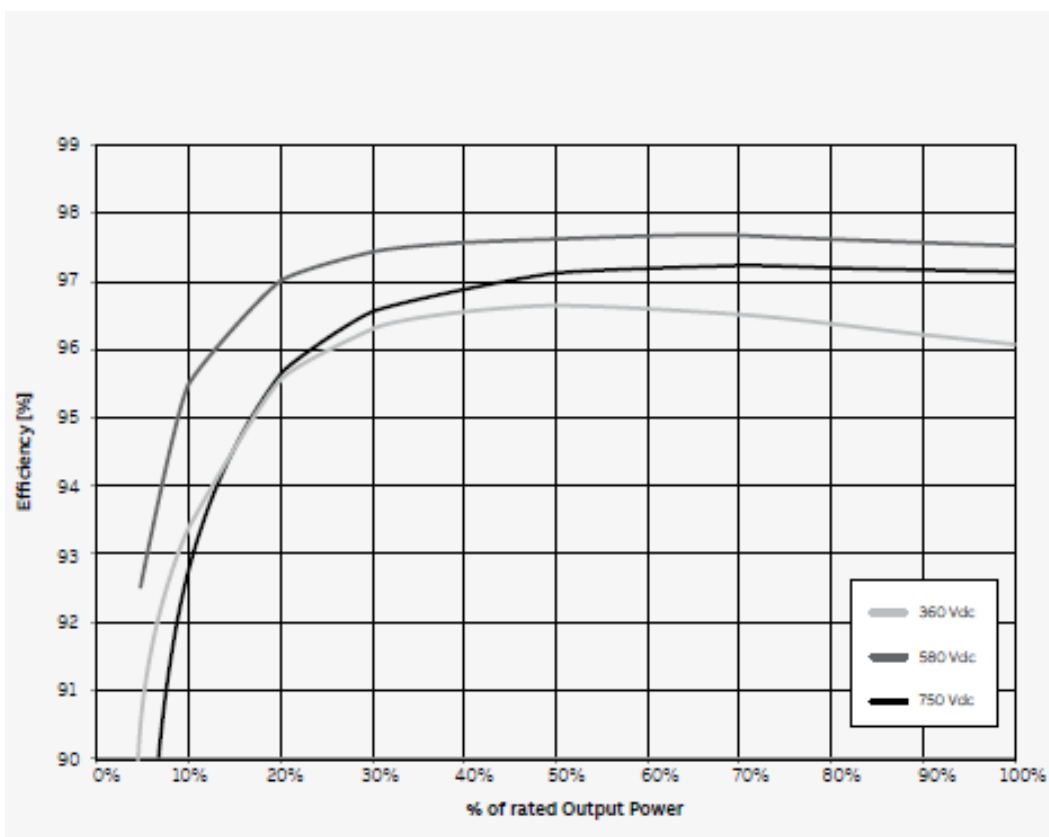
Opinnäytetyöhön inverttereistä ja sen valinnasta lisätietoa kertoi Green Energy Finland Oy:n Otso Salonen. TRIO-20.0/27.6 – sarjan invertterin paneelijaon pääperiaatteet ovat seuraavat:

- yhdelle MPPT-seuraimelle kytketyt paneelit tulisivat olla samanlaisissa säteilyolosuhteissa eli samassa suunta- ja kallistuskulmassa
- yhdelle MPPT-seuraimelle kytketään pelkästään samanpituisia paneeliketjuja rinnan siten, että eri paneeliketjuilla on yhtä monta paneelia sarjassa. Rinnankytkennässä jännite määräytyy heikoimman jännitelähteen mukaan
- paneeliketjun pituus riippuu invertterin jännitetasosta, joista ei saa tinkiä (start-up DC input voltage ja absolute maximum DC-input voltage)
- virta- ja tehorajojen ylitys ei haittaa, sillä invertteri pystyy itse rajoittamaan tehoa (Salonen, 2018).

Molemmissa inverttereissä Absolute maximum DC input voltage (absoluuttinen maksimi sisääntulojännite) on 1000 V ja Start-up DC input voltage (käynnistys sisääntulojännite) 360 V (säädetävissä 250–500 V) (ABB). Jotta invertteri alkaa toimia auringonpaisteella, tulisi jännitteen ylittää käynnistys sisääntulojännite. Ja jotta invertteri ei hajoaisi ylijännitteestä, jännite ei saa ylittää absoluuttista maksimi sisääntulojännitettä. (Salonen, 2018)

Invertteri toimii parhaiten, kun se operoi mahdollisimman lähellä nimellistehoaan. Kuvassa 16 on esitetty invertterin hyötysuhteita eri jännitteillä. X-akselilla ilmoitetaan, kuinka monta prosenttia invertterin nimellistehosta hetkellinen paneeliteho on ja Y-akselilla invertterin hyötysuhde.

Efficiency curves of PVI-12.5-TL-OUTD



KUVA 16. Invertterin hyötysuhde (ABB Oy, 2018)

Jos aurinkovoimalan antama paneeliteho on hetkellisesti 1,25 kW ja invertterin nimellisteho 12,5 kW, paneeliteho on siten 10 % ja hyötysuhde esimerkiksi 750 Vdc:llä vähän alle 93 %. Koska invertteri toimii suurimman osan vuodesta huomattavasti alle nimellistehonsa (eli 12,5 kW), niin alimitoitus on järkevää paremman hyötysuhteen saamiseksi. (Salonen, 2018)

5.4 Kiinteistön keskukseen liittyminen

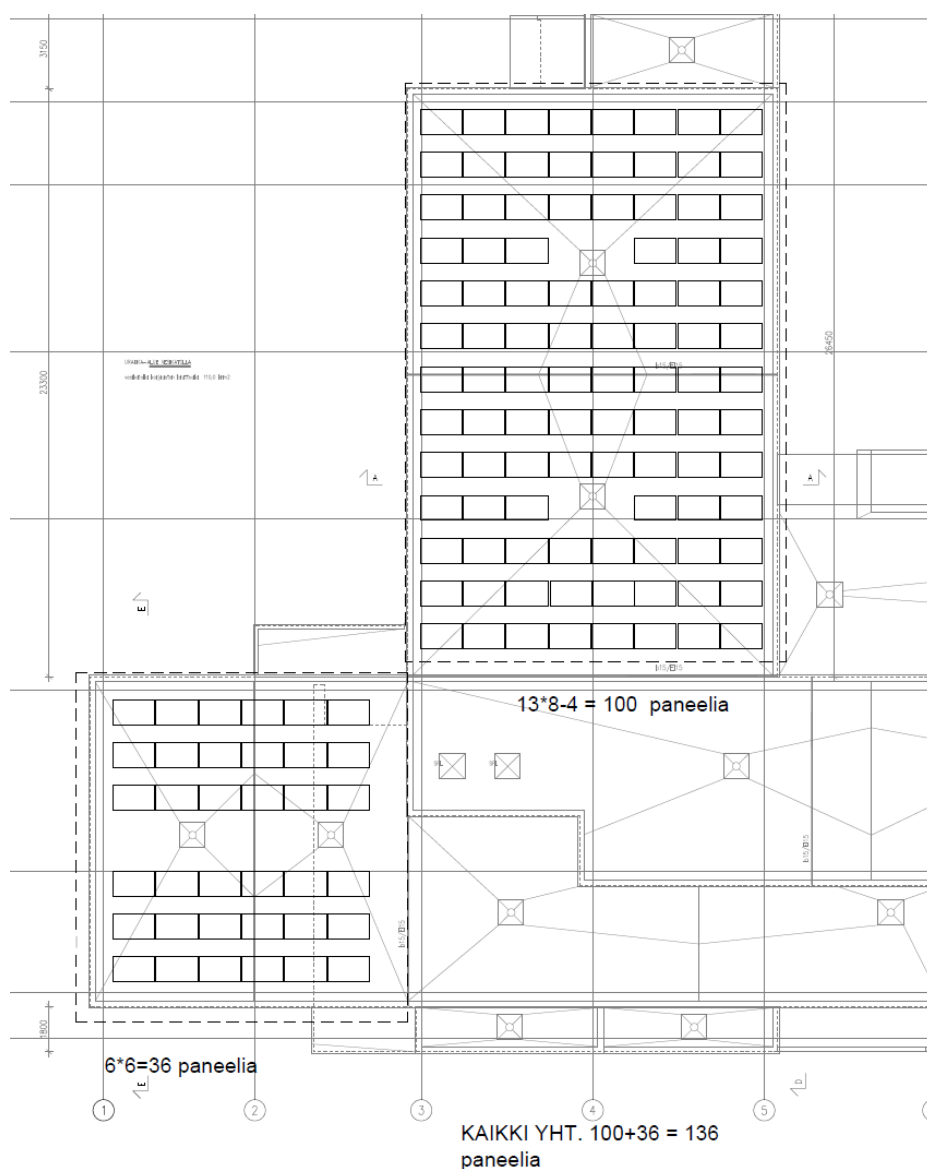
Aurinkosähköjärjestelmä liitetään rakennuksen johonkin sähkökeskukseen. Usein se liitetään rakennuksen pääkeskukseen, koska järjestelmän luotettava erottaminen verkosta on sähköturvallisuuden kannalta helpointa ja varmintä nimenomaan pääkeskuksessa. Järjestelmä voidaan liittää myös rakennuksen jakokeskukseen tai IV-keskukseen, mutta nämä eivät välttämättä ole mitoitettu aurinkosähköjärjestelmän tarpeiden mukaan. Lisäksi pääkeskuksessa yleensä on varmimmin vapaita ja riittävän suuria varalähtöjä, joista otetaan sähkönsyöttö inverttereille ja sitä kautta koko järjestelmälle.

Kriteerien tässä vaiheessa perehdyttiin tarkemmin rakennuksen sähköjakeluun ja tilaan, johon invertterit tullaan sijoittamaan. Kiinnitettiin huomio keskukseen ja siihen, että siellä on tarvittava määrä lähtöjä varalla aurinkosähköjärjestelmää varten.

5.5 Rakennusten vesikattokuvat

Työssä tutkittiin, saataisiinko potentiaalisten kohteiden vesikattokuvaan tehdyistä paneelisijoitteluista muodostettua kaava, jolla pystytään jatkossa arvioimaan suuruusluokkaa, montako aurinkopaneelia tietylle alueelle mahtuu. Jokaisesta potentiaalisesta kohteesta on tehty kuvan 15 mukainen katon pinta-alalaskelma. Sen ja vesikattokuvaan tehtyjen paneelisijoitteluiden perusteella tarkasteltiin erikseen tasa- ja harjakattoja ja sitä, miten katon ja paneelistojen pinta-alat kohtaavat ja saadaanko niiden perusteella pääteltyä, kuinka paljon paneeleita tietylle alueelle mahtuu.

Paneeleiden määrä suhteessa katon pinta-alaan laskettiin pinta-alan laskukaavalla ja vertaamalla niitä toisiinsa: paneeliston pituus kertaa leveys ottaen huomioon paneelien väliin jäävät alueet. Väli-alueiden koko vaihtelee tasa- ja harjakatto asennuksissa ja se on otettu huomioon. Kun paneelien pinta-ala oli selvillä, verrattiin sitä aiemmin laskettuihin katto pinta-aloihin ja saatiin prosenttiluku, joka kertoo, kuinka suuren alueen lasketusta kattopinta-alasta paneelit peittävät.



KUVA 17. Paneelisijoittelu tasakatonle.

6 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU, CASE STEINERKOULU

Laadukkaan aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluun vaikuttavat monet asiat. Jotta järjestelmästä saadaan maksimaalinen hyöty irti, pitää suunnittelussa kiinnittää huomiota nimellistehon mitoittamiseen tapauskohtaisesti, sekä pohtia tarkoin aurinkopaneeleille optimaaliset sijoituspaikat ja suuntaukset. (Isojunno, 2014) Suunnittelussa käytettiin AutoCADin MagiCad -ohjelmaa.

Kun potentiaaliset kohteet oli löydetty, tehtiin yhteen kyseisistä kohteista toteutuskelpoinen case-tyyppinen sähkösuunnitelma aurinkosähköjärjestelmästä. Suunnitteludokumentit koostuivat asiakirjaluettelosta, järjestelmän hankintaohjeista, ryhmityspiirustuksista ullakolta ja katolta, periaatekaaviosta ja pääkeskuksen pääkaaviosta. Kohteeksi valittiin Kuopiossa Asemakatu 3:ssa sijaitseva Steinerkoulu Virkkulan B-rakennus (kuva 19). Rakennus on peruskorjattu vuonna 2012. Kohteesta on saatavilla ajantasaiset sähkökuvat, jotka helpottivat huomattavasti suunnitelmien tekoa. Lisäksi kohteeseen ei ole tulossa suuria remontteja, koska peruskorjauksesta ei ole pitkä aika.



KUVA 19. Steinerkoulun B rakennus (Joutsu, 2009)

Steinerkoulun sijainti on hyvä. Kattopinta-ala on etelään päin eikä lähistöllä tai katolla ole paljon varjostavia elementtejä. Lisäksi B-rakennuksen pääkeskus sijaitsee ullakolla, joten kaapelireitit paneelilta invertterille ja invertteriltä keskukseen eivät ole pitkiä, kun invertteri sijoitetaan pääkeskustilaan.

6.1 Kohteen tiedot

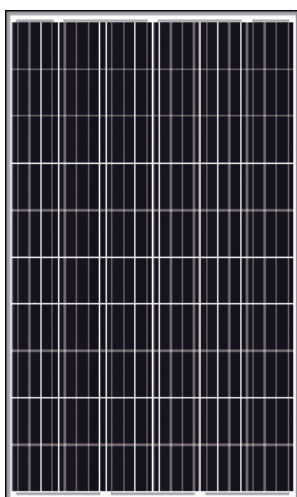
Kohteessa on kulutusta ympäri vuoden, sillä kesäisin, kun koulua ei ole, kiinteistössä on majoitus-toimintaa. Kohteen kulutusta tarkasteltiin Kuopion Energian tuntisarjoista, jotta pystyttiin mitoittamaan järjestelmä siten, että kaikki tuotettu energia tulee omaan käyttöön.

Tuntisarjojen perusteella koulun tuntikohtaisen kulutuksen keskiarvo on noin 15 kW ja sitä voidaan käyttää pohjakuormana. Paneeleilla tuotetaan 13 kW. Kun auringonpaistetunteja on keskimäärin 1005 h kesäkuukausina (touko-elokuu) Kuopion korkeudella (Ilmatieteenlaitos), huomataan että kesäaikainen kulutus on $(15 \text{ kW} \cdot 1005 \text{ h})$ on 15 075 kWh ja paneeleilla saadaan tuotettua $(13 \text{ kW} \cdot 1005 \text{ h})$ 13 065 kWh.

Steinerkoulun katoille olisi ollut mahdollista rakentaa suurempikin aurinkovoimala jos myös C-rakennuksen katolle olisi asennettu paneelit. Paneeleita C-rakennukseen olisi mahtunut noin 114. Tällöin C-rakennuksen järjestelmän teho olisi ollut $114 \cdot 0,270 \text{ kW} = 30,78 \text{ kWp}$. Näin ollen kaikkien rakennusten järjestelmä olisi ollut yhteensä $12,96 \text{ kWp} + 30,78 \text{ kWp} = 43,74 \text{ kWp}$. Silloin olisi tuotettu energiaa myyntiin yli omien tarpeiden ja sitä ei haluttu.

6.2 Aurinkopaneelien valinta

Julkiset kiinteistöt ovat monesti suurempia kuin esimerkiksi omakotitalot. Paneeleiksi valitaan GEF:n käyttämä JASolarin JAP6-60-270/4BB kuten kuvassa 20, ja niitä tulee yhteensä 48 kappaletta. Ne ovat kooltaan 1650x991x35mm. Paneelien väliin jäävä alue on 50 mm.



KUVA 20. Aurinkopaneeli JASolar JAP6. (JASolar, 2016)

Paneelin ominaisuudet:

• P max	270 W
• Pinta-ala	1,64 m ²
• Kennojen määrä	60
• Hyötysuhde	16,5 %
• Oikosulkuvirta	9,15 A
• Tyhjäkäyntijännite	38,27 V

Paneeliston huipputeho $P_{\text{max}} = 48 \cdot 270 \text{ W} = 12\,960 \text{ W} = 12,96 \text{ kW}$. Tämä on pohjana invertterin valinnalle.

6.3 Invertterin valinta

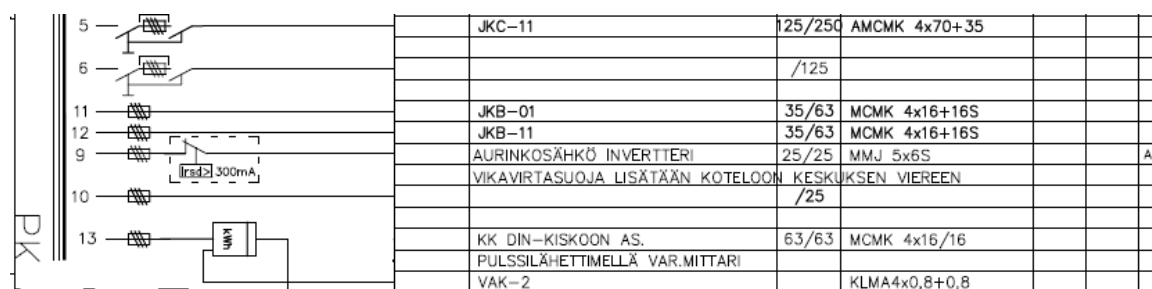
Invertteriksi valitaan aiemmin mainittu ABB:n PVI 12.5. PVI 12.5 -invertteri soveltuu parhaiten tähän kohteeseen, sillä paneeliston huipputeho 12,96 kW suhteessa invertterin huipputehoon 12,5 kW on sopiva.

Suomen oloissa aurinkopaneelit eivät käytännössä ikinä tuota nimellistehonsa (270 W) verran tehoa. Tämä johtuu siitä, että nimellisteho on aurinkopaneelin äärimmäinen maksimiteho standardoiduissa testiolosuhteissa (Standard Test Condition), joka tarkoittaa, että auringonsäteilyä on 1000 W/m², lämpötila 25 astetta ja ilmamassan arvo 1,5. Suomessa, samoin kuin muissa pohjoismaissa, tähän ei päästä juuri koskaan. (Salonen, 2018) Normaaliolosuhteissa paneelitehoa rajoittavat monet tekijät, kuten Suomessa aurinko ei paista täysin suoraan paneeleita kohti, ilmassa on epäpuhtauksia ja lämpötilat vaihtelevat suurestikin, talvella on lunta ja sen sulaminen vaihtelee suuresti maan eri osien välillä.

Näin ollen 270 W aurinkopaneelin teho on Suomessa todellisuudessa maksimissaan 260 W. Tähänkin arvoon päästään todella harvoin, käytännössä vain silloin kun aurinko paistaa kirkkaalta taivaalta ja on viileä keli. Kesäisin kuumuuden takia aurinkopaneelin antama teho putoaa. Edellä mainittujen lisäksi invertteri kannattaa hieman alimitoittaa, koska invertteri toimii paremmin, mitä lähempänä nimellistehoaan se operoi. (Salonen, 2018)

”Aurinkovoimalan invertteri mitoitetaan siten, että DC/AC suhde on välillä 0,9-1,2. DC/AC suhteella tarkoitetaan paneelitehon suhdetta invertterin tehoon, eli tässä tapauksessa $12,96/12,5 = 1,04$ ” (Salonen, 2018). Luku sijoittuu juuri tuolle annetulle välille.

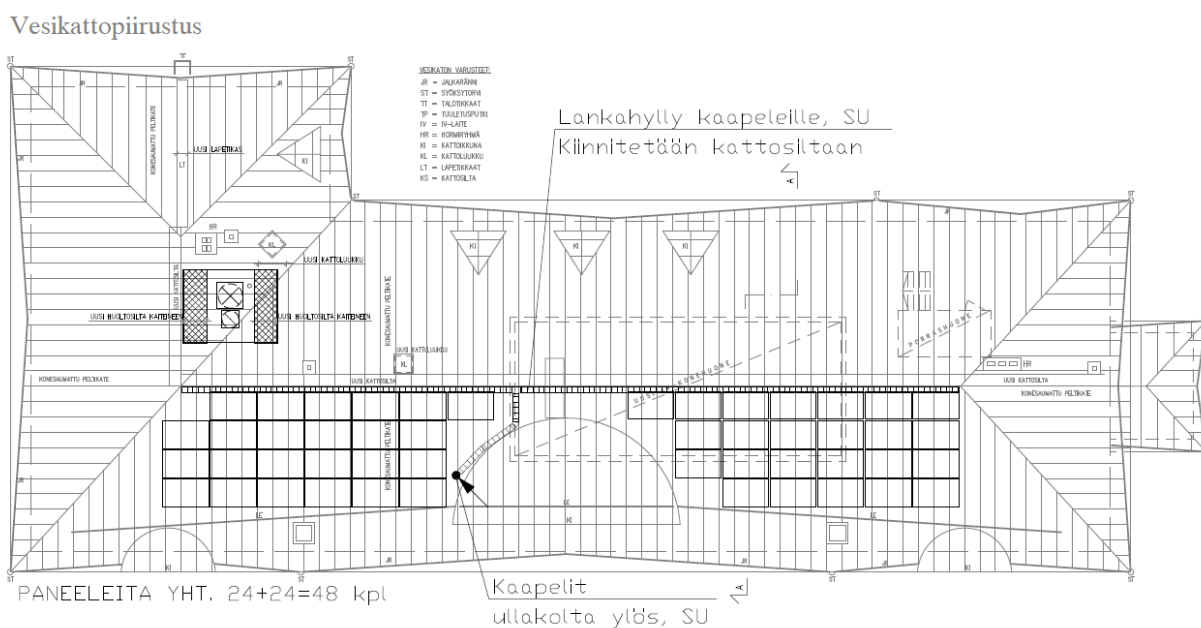
Invertteri liitetään 3-vaiheisesti jakeluverkon rinnalle pääkeskukseen. Pääkeskus on samassa tilassa invertterin kanssa ullakolla. Järjestelmä on sen verran pieni, ettei tarvita erillistä aurinkosähkökeskusta invertterin ja pääkeskuksen väliin, vaan invertteri voidaan suoraan liittää pääkeskukseen. Invertterille otetaan keskukselta varalla ollut lähtö numero 9, jonka sulakekoko on 25 A (kuva 21). Invertterin tiedoista käy ilmi, että suojalaitteen maksimikoko on 25 A. Lähtöön täytyy lisätä 300mA:n vikavirtasuojaj, joka sijoitetaan keskuksen ulkopuolelle koteloon, mikäli sillä ei ole tilaa keskuksen sisällä.



KUVA 21. Pääkeskuksen keskuskaavio. (Insinööritoimisto J.Markkanen Oy)

6.4 Paneelien sijoitus

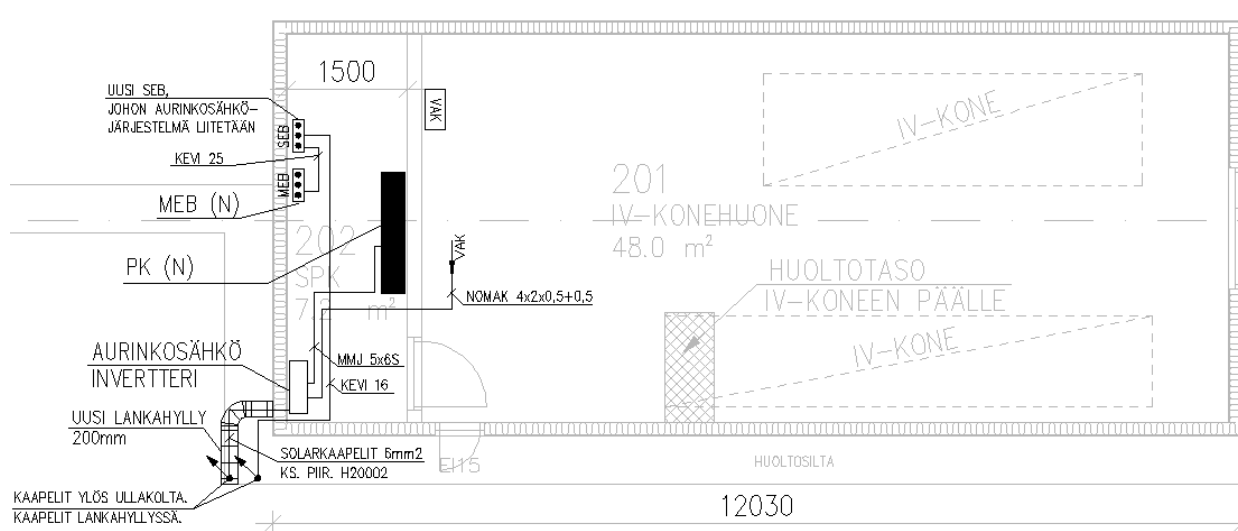
Paneelit sijoitetaan kuvan 22 mukaisesti kaarevan ikkunan molemmille puolille vaakatasoon katon myötäisesti. Paneeleita tulee 24 kpl per puoli, eli yhteensä 48 kappaletta. Yleensä paneelit sijoitetaan harjakatolle katon myötäisesti pystysuunnassa mutta tässä tapauksessa paneelit saadaan mahdumaan paremmin vaakatasossa. Ainoa haittapuoli harjakatolle asennettaessa vaakaan on, että asennuskiskoa kuluu hieman enempi kuin pystyasennuksessa.



KUVA 22. Paneelien sijoittelu.

Paneelijako toteutetaan siten, että yhdessä paneeliketjussa on sarjaankytkettynä 12 paneelia ja ketjuja on yhteensä 4. Koska invertterissä on 2 MPP-seurainta, hyödynnetään molempia, vaikkakin kaikki paneelit ovat samaan suuntaan ja samanlaisissa olosuhteissa. Molempia MPP-seurainten hyödyntäminen on järkevää, koska paneeliketjut saadaan jaettua tasaisesti molemmille ja yhden seuraimen maksimiteho on 8 kW. Paneelien teho siis per 1 MPP-seurain on $12 \cdot 0,270 \text{ kW} = 6,48 \text{ kW}$. Invertterissä on 2 DC-sisääntuloa per MPP, joten paneeliketjutukseen ainoa mahdollinen vaihtoehto on $2 \cdot 12$ per MPP. Paneeliketjut ovat rinnankytkettyjä.

Ullakon sähköasennukset tullaan toteuttamaan kuvan 23 mukaisesti. Selitysten perässä suluissa oleva N tarkoittaa, että kyseinen laite tai asennus on nykyinen. Uudet lisättävät asennukset, kaapelit ja laitteet on esitetty kuvassa ilman tunnusta (N).



KUVA 23. Ryhmityskuva ullakosta. (Insinööritoimisto J.Markkanen Oy)

6.5 Kaapelointi

Invertterin nimellistehon perusteella valitaan kaapeli ja sille suojaus. Kaapelointi pääkeskukselta invertterille toteutetaan MMJ 5x6S kaapelilla. DC-kaapelointi invertteriltä paneeleille tehdään solarkaa-pelilla (6mm²). Kaapelit, mukaan lukien maadoitus, kuljetetaan ullakolla sijaitsevalta invertteriltä lankahyllyä pitkin nipussa katolle, josta ne jakautuvat paneeleille. Myös katolla on lankahylly kiinni kattosillassa, josta pitkin kaapelit kuljetetaan nipussa rakennuksen toiseen päähän paneeleille.

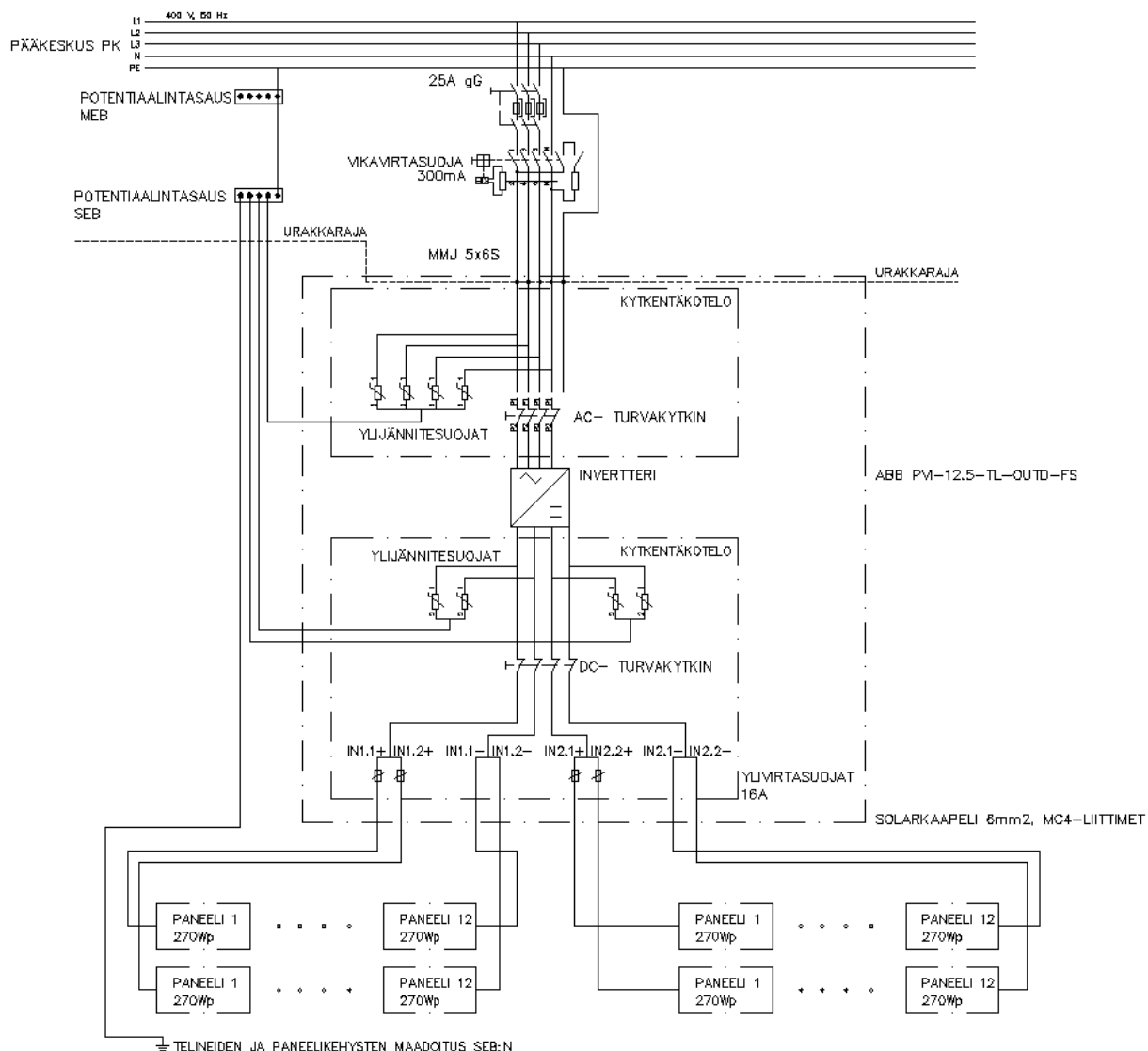
Paneelistojen rungot ja kiinnityskiskot maadoitetaan potentiaalintasauskiskoon (SEB) joka sijaitsee pääkeskuksella ullakolla. Maadoituskaapeli kulkee samassa lankahyllyssä muiden kaapeleiden kanssa.

6.6 Suojaus

Aurinkosähköjärjestelmän periaatekuvasta huomataan (kuva 24) että pääkeskuksessa on 25 A sulake invertterille. Se on valittu invertterin nimellistehon perusteella suojaamaan kaapelia. Keskuksessa on lisäksi 300 mA vikavirtasuojat.

Invertterissä on sisäänrakennettuna ylijännitesuojat sekä AC- että DC-puolella, sekä turvakytkimet. DC-puolen ulostuloja IN1.1/1.2+ ja IN2.1/2.2+ suojaa 16 A ylivirtasuojat.

Koko järjestelmän kaikki osat on maadoitettu liittämällä se rakennuksen potentiaalintasausjärjestelmään. Keskukseseen lisättiin olemassa olevan MEB -kiskon rinnalle uusi potentiaalintasauskisko SEB, johon aurinkosähköjärjestelmän osat on liitetty.



KUVA 24. Aurinkosähköjärjestelmän periaatekaavio. (Insinööritoimisto J.Markkanen Oy)

6.7 Kustannukset

Hintaa ja takaisinmaksuaikaa voidaan järjestelmälle laskea suuntaa antavasti, jonka mukaan pystytään budjetoimaan rahat hankkeeseen. Tämän hetkinen sähkönhinta ja korkotaso laskettaessa takaisinmaksuaikaa on saatu Tilakeskuksen omista tiedoista.

6.7.1 Kustannusarvio

Järjestelmän hinta muodostuu paneeleista, invertteristä, DC/AC -kaapeloinneista, sekä sähkö- ja rakennusteknisistä töistä.

Steinerkoulun aurinkosähköjärjestelmän hinta määräytyy GEF:n kanssa olevan sopimuksen mukaan. Järjestelmän hinta muodostuu paneeleista, invertteristä ja kaapeloinnista invertteriltä valmista johtotietä pitkin paneeleille. Tämä osuus lasketaan käyttäen GEF:n 1,10 €/Wp hinta-arviota. Loput työt, kuten kaapelointi keskukselta invertterille, johtoreittien tekeminen, läpiviennin tekeminen katolle,

sekä töiden ja sähkösuunnittelun työtunnit, lasketaan erikseen ja lisätään järjestelmän hintaan. Seuraavat laskelmat järjestelmän kokonaishinnasta ovat suuntaa antavia (alv 0 %).

Järjestelmän hinta

Paneelit	270W
Määrä	48 kpl
Järjestelmän koko	13 kWp
Järjestelmän energian tuotto	850 kWh/kWp
Vuosituotto	11,05 MWh
Oma käyttö	100 %
Hinta / Wp	1,10 €/Wp
Yhteensä	1,10 €/Wp · 13 000 Wp = 14 300 €

Muut työt

Sähkötyöt ja sähkösuunnittelu	3385 €
Rakennustekniset työt	520 €
Yhteensä	3905 €

Koko järjestelmä yhteensä

14 300 € + 3905 € = 18 205 €

6.7.2 Takaisinmaksuaika

Aurinkopaneelien käyttöikä nykytekniikalla on noin 30 vuotta ja järjestelmä on toimintavarma. Kun lasketaan järjestelmän takaisinmaksuaikaa, ei oteta huomioon investoinnin pitoaikaa eikä jäännösarvoa. Riski sille, että aurinkosähköjärjestelmä rikkoutuisi ennen takaisinmaksuajan (yleensä noin 8-16 vuotta) päättymistä, on pieni. Lisäksi huollon- ja ylläpidon tarve on vähäistä. (FinSolar, 2015)

Työhön takaisinmaksuaikaa laskettiin FinSolarin internetsivuilta löytyvällä aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuslaskurilla ja tulokseksi saatiin seuraavaa.

TAULUKKO 3. Steinerkoulun aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuaika. (Juntunen ;Jalas;& Auvinen, 2017)

Yhteenveto: investoinnin tuotto- ja kannattavuuslaskelmat

Investoinnin nettonykyarvo eli kokonaistuotto tai -tappio 30 vuoden käyttöiällä	10 257 €	euroa
Takaisinmaksuaika	15	vuotta

Kuten taulukosta 3 huomataan, takaisinmaksuaika annetuilla tiedoilla on 15 vuotta. Tämä on hyvin realistinen aika aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuajaksi tämän hetkiselällä sähkön hinnalla.

7 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa Tilakeskukselle tiedot potentiaalisista kohteista, joihin kannattaa tulevaisuudessa budjetoida ja rakentaa aurinkosähköjärjestelmä. Myös järjestelmän suuruusluokka tiedetään, kun kohteista on ajantasaiset kuvat kattojen pinta-aloista ja paneelisijoittelusta. Näiden lisäksi Tilakeskuksella on käytössään valmis sähkösuunnitelma Steinerkoulun aurinkosähköjärjestelmästä, jonka pohjalta voidaan budjetoida rahat ja tilata järjestelmä.

Työssä selvitettiin Tilakeskukselle potentiaaliset kohteet aurinkosähköjärjestelmän rakentamiselle vaihe vaiheelta. Työssä ei otettu huomioon kattorakenteiden remontointitarvetta eikä lumi- tai tuulikuormia. Eli pohjatyö on tehty.

Lopputuloksena saatiin tiedot Kuopion Tilakeskukselle muun muassa potentiaalisista kohteista ja kohteiden kattopinta-alat, jotka ovat sopivat paneeliasennuksille. Suuresta osasta potentiaalisia kohteita löytyy vesikattokuviiin tehdyt paneelisijoittelut ja taulukko, joka kertoo, montako prosenttia kattoalasta saadaan täytettyä paneeleilla. Tämän lisäksi opinnäytetyössä tehtiin case-tyyppinen sähkösuunnitelma ja kustannustarkastelu aurinkosähköjärjestelmästä Kuopion Steinerkouluun.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- ABB. *ABB aurinkosähköinvertterit Pikaohje*. Haettu 26. 3. 2018 osoitteesta <http://new.abb.com/power-converters-inverters/fi/aurinkosahkoinvertterit/verkkoinvertterit/kolmivaiheiset-verkkoinvertterit/trio-20-0kw-27-6kw>
- ABB Oy. (3. 5. 2018). *Solar inverters*. Noudettu osoitteesta ABB string inverters PVI-10.0/12.5-TL-OUTD: <http://new.abb.com/power-converters-inverters/fi/aurinkosahkoinvertterit/verkkoinvertterit/kolmivaiheiset-verkkoinvertterit/pvi-10-0kw-12-5kw>
- ABB Oy. *Verkkoinvertterit*. Haettu 15. 03. 2018 osoitteesta <http://new.abb.com/power-converters-inverters/fi/aurinkosahkoinvertterit/verkkoinvertterit/kolmivaiheiset-verkkoinvertterit/trio-20-0kw-27-6kw>
- Energiateollisuus ry, sähköverkot. (2015). Aurinkosähköjärjestelmän toteutus ja liittäminen jakeluverkkoon. *Aurinkosähköjärjestelmän toteutus ja liittäminen jakeluverkkoon, järjestelmien liittäminen verkkoon*. Vantaa.
- Energiateollisuus Sähköverkko/Ina Lehto. (27. 4. 2016). *Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon*. Haettu 22. 2. 2018 osoitteesta https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon_pientuotanto
- FinSolar. (14. 9. 2015). *FinSolar aurinkoenergiatietoa - kannattavuus*. Haettu 22. 4. 2018 osoitteesta <http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/kannattavuus/>
- Green Energy Finland Oy. (2015). Aurinkosähköjärjestelmien toteutus ja liittäminen jakeluverkkoon, case aurinkosähköjärjestelmän toteutus. Vantaa: Green Energy Finland Oy.
- Ilmatieteenlaitos. *Auringon säteily ja kirkkausvaihtelut*. Haettu 12. 3. 2018 osoitteesta <http://ilmatieteenlaitos.fi/sateily-ja-kirkkausvaihtelut>.
- Ilmatieteenlaitos. *Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa*. Haettu 15. 3. 2018 osoitteesta <http://ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky>.
- Insinööritoimisto J.Markkanen Oy. *KYS aurinkoenergia*. Kuopio.
- Isojunno, V. (2014). *Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu*. Metropolia Ammatikorkeakoulu.
- JASolar. (4. 2016). *JAP6-60/255-275/4BB*. Haettu 12. 4. 2018 osoitteesta <http://www.jasolar.com/Standard/542-JAP6-60%252F4BB>.
- Joutsu, S. &. (7. 2009). *Kuopion Asemakadun näkymiä*. Haettu 12. 4. 2018 osoitteesta <http://www.jukkajoutsu.com/kuopio2.html>
- Juntunen, J.;Jalas, M.;& Auvinen, K. (13. 6. 2017). *FinSolar aurinkosähkön kannattavuuslaskuri*. Haettu 25. 4. 2018 osoitteesta <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1VEzwSvQAHUVtIhCYhL4-WoBajY5KUXyuC9WRRuuc2VM/edit#gid=279239804>
- Kekkonen, A. (2014). Pienten tuuli- ja aurinkosähköjärjestelmien asentaminen. *Pienten tuuli- ja aurinkosähköjärjestelmien asentaminen* (s. 6). Oulu: OAMK Oulun ammattikorkeakoulu.
- Kuopion Tilakeskus. (2018). *Tilakeskus*. Haettu 1. 2. 2018 osoitteesta <https://www.kuopio.fi/palvelut>
- Kvik, P. (2010). *Verkkoon kytketty aurinkopaneelijärjestelmä*. Savonia-ammattikorkeakoulu, Tietotekniikan koulutusohjelma. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu. Haettu 23. 2. 2018 osoitteesta <https://www.theseus.fi/handle/10024/1759/browse?value=Kvik%2C+Pasi&type=author>
- Lämpöäkotii.fi. (2018). Sähköä auringosta. *Sähköä auringosta*. Lämpöäkotii.fi.

- Motiva. (15. 11. 2016). *Aurinkopaneelien asentaminen*. Haettu 2. 3. 2018 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkopaneelien_asentaminen.
- Motiva. (2017). *Auringosta sähköä*. Haettu 11. Tammikuu 2018 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa
- Motiva. (5. 3. 2018). *Aurinkosäteilyn määrä Suomessa*. Haettu 11. 1. 2018 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa.
- Naps Solar Systems Oy. *Mitä on aurinkosähkö?* (Aurinkopaneelit) Haettu 17. 1. 2018 osoitteesta <http://napssolar.com/fi/mita-aurinkosahko>.
- Perälä, R. (2017). *Aurinkosähköä*. Helsinki: Alfamer/Karisto Oy.
- Pesonen, N. (2016). *Aurinkopaneelijärjestelmän kannattavuus ja takaisinmaksuaika*. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.
- Puro, V.-M. *Kiinnitysteline*. Haettu 26. 3. 2018 osoitteesta <http://www.aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/kiinnitysteline/>
- Rexel. (2018). *Rexel aurinkosähköjärjestelmät - helpot aurinkosähköratkaisut kiinteistöihin*. Noudettu osoitteesta <https://www.rexel.fi/Palvelut/Aurinkosahko/>
- Rexel Finland Oy. *Rexel aurinkosähköjärjestelmät*. Haettu 26. 1. 2018 osoitteesta <https://www.rexel.fi/Palvelut/Aurinkosahko/>.
- Saarensilta, J. (2012). *Aurinkosähkön hyödyntäminen, teknisten ratkaisujen kartoittaminen*. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Talotekniikan koulutusohjelma. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- Salonen, O. (23. 2. 2018). Paneelien mitoittaminen. *Sähköpostikeskustelu*.
- Suntekno Oy. (15. 4. 2010). *Aurinkoenergian ABC-opas*. Haettu 21. 3. 2018 osoitteesta <http://suntekno.bonsait.fi/ladattavat%20tiedostot>.
- Suntekno Oy. (15. 4 2010). *Aurinkopaneelien toimintaperiaate*. Haettu 23. 02 2018 osoitteesta <http://suntekno.bonsait.fi/aurinkopaneelit>
- Suntekno Oy. (15. 4. 2010). *Aurinkopaneelin toimintaperiaate*. Haettu 1. 2. 2018 osoitteesta <http://suntekno.bonsait.fi/fi/page/36>.
- Suomen luonnonsuojeluliitto. (2. 2015). *Aurinkovoimaa koteihin*. Haettu 18. 5. 2018 osoitteesta https://www.sll.fi/luonnonsuojelija/lehtiarkisto/2015/2_2015/aurinkovoimaa-koteihin
- Suomen standardisoimisliitto SFS RY. (2017). *SFS 6000-7-712:2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 1-2: Erikoistilojen ja täydentävät vaatimukset*. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS RY.
- Taavi paikkatietopalvelu. (12. 1. 2018). *Taavi paikkatietopalvelu*. Noudettu osoitteesta <http://taavi.kuopio.fi/>
- Vuorinen, A. (2009). *Energian käyttäjän käsikirja*. Espoo: Ekoenergo Oy.